



ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE TRABALHO: ESTUDO DE UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO EM CAMPINAS - SP

Brenda Rodrigues Coutinho (1); Lucila Chebel Labaki (2)

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, brendacoutinho_arq@hotmail.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, lucila@fec.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Arquitetura e Construção, Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada, Cx Postal 6021, Campinas - SP, 13083-852, Tel.: (19)3521-2337

RESUMO

No Brasil, a avaliação do conforto térmico é uma área que tem sido cada vez mais abordada pelos pesquisadores. As condições de conforto são regulamentadas por normas técnicas nacionais e internacionais, as quais indicam os parâmetros para que os usuários estejam em condição de conforto em função dos valores-limite de temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do ar. Estes padrões também estão relacionados ao tipo de atividade exercida e à vestimenta utilizada. O índice PMV – Predicted Mean Vote (Voto Médio Estimado - VME) adotado pela norma ISO 7730, 2005, é utilizado como meio de avaliação para o conforto térmico para ambientes termicamente moderados. A norma ASHRAE 55, no ano de 2004, incorporou o conceito de modelo adaptativo baseado nas pesquisas de De Dear e Brager (1998), o qual relaciona as temperaturas internas de conforto ao clima externo para ambientes naturalmente ventilados. Todavia, nenhuma destas normas considerou dados de pesquisas realizadas no Brasil e em áreas de cozinhas e refeitórios para a sua formulação. A proposta deste trabalho é a realização de um estudo do conforto térmico utilizando os métodos PMV e adaptativo e fazer uma comparação entre os mesmos e a sensação térmica real dos trabalhadores de um restaurante universitário da Unicamp, em Campinas –SP. Foram medidas as variáveis ambientais e pessoais dos funcionários do restaurante além da aplicação de questionários para a obtenção da sensação térmica real e posteriormente calculados os índices PMV e a adaptação segundo as normas ISO 7730 e ASHRAE 55. Utilizou-se para a análise dos resultados os métodos estatísticos de regressão linear e análise Probit. O trabalho mostra que as faixas de conforto térmico e temperatura de neutralidade medidos foram parcialmente semelhantes às recomendações pelas normas citadas.

Palavras-chave: conforto térmico, ISO 7730, restaurante universitário, ASHRAE 55.

ABSTRACT

In Brazil, the evaluation of thermal comfort is an area that has been increasingly discussed by researchers. Comfort conditions are regulated by national and international technical standards, which indicate the parameters so that users are in a condition of comfort in terms of limit values of air temperature, air humidity and air velocity. These standards are also related to the type of activity and the clothing used. The PMV index - Predicted Mean Vote adopted by ISO 7730, 2005 is used as a way of evaluate thermal comfort for moderate thermal environments. The ASHRAE 55, in 2004, incorporated the concept of adaptive model based on the researches of De Dear and Brager (1998), which relates the comfort internal temperatures to the external climate for naturally ventilated environments. However, none of these standards considered data from surveys conducted in Brazil and in areas like kitchens and dining areas for their formulation. The purpose of this paper is to conduct a study of thermal comfort using the PMV and adaptive methods and make a comparison between them and the actual thermal sensation of the workers in a university cafeteria in Unicamp, Campinas-SP. The environmental and personal variables of the cafeteria's employees were measured, beyond the application of questionnaires to obtain the actual thermal sensation and then calculated the PMV and adaptation indices according to ISO 7730 and ASHRAE 55. Statistical methods of linear

regression and probit analysis were used for the result's analysis. The paper shows that the thermal comfort ranges and the neutrality temperature measured were partially similar to those recommend by the standards aforementioned.

Keywords: thermal comfort, ISO 7730, university cafeteria, ASHRAE 55.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ruas (1999), as variáveis que determinam as condições de conforto térmico podem ser divididas em dois grandes grupos, sendo o primeiro grupo as de natureza ambiental e o segundo grupo, as de natureza pessoal. As variáveis de natureza ambiental são a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade relativa do ar e umidade relativa do ar ambiente (RUAS, 1999). As variáveis de natureza pessoal são o tipo de vestimenta do indivíduo, representada pelo seu isolamento térmico e medida em “clo” e o tipo de atividade física desenvolvida, que é representada pelo metabolismo, medido em “met” (RUAS, 1999). O efeito combinado de todas essas variáveis é o que determina a sensação de conforto ou desconforto térmico para o indivíduo.

A necessidade de se conhecer a sensação térmica experimentada pelas pessoas, quando expostas a determinadas combinações de variáveis ambientais e pessoais levou ao desenvolvimento de índices de conforto que possibilitam avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas. Tais índices representam tentativas de indicar, através de um único parâmetro, o efeito conjugado das diversas variáveis sobre a sensação térmica.

O método mais conhecido e amplamente aceito para a avaliação do conforto térmico é o Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger e publicado em 1972. Na experiência laboratorial, Fanger realizou uma pesquisa na qual entrevistou 1300 pessoas e tinha como objetivo apresentar um método para prever a sensação e o grau de desconforto térmico das pessoas, expostas a condições moderadas e especificar as condições térmicas aceitáveis para o bem estar térmico do ser humano. Fanger relacionou o calor perdido pela pele em função da área superficial do corpo, calor interno produzido pelo metabolismo e temperatura média da pele.

O trabalho de Fanger foi adotado como base para o desenvolvimento de uma norma internacional que especifica condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados, a ISO 7730 (1984) que teve sua última atualização realizada no ano de 2005. A norma recomenda a adoção de alguns limites para o cálculo de PMV, são eles: $-0,5 < PMV < 0,5$, que corresponde a um PPD - Percentage of people dissatisfied (percentual de pessoas insatisfeitas) de 10%. Ainda na ISO 7730, é apresentada uma série de tabelas que nos ajudam a inferir os valores necessários para os cálculos do PMV e PPD, além de gráficos que relacionam temperatura operativa (ou $PMV = 0$), como função da atividade e vestimenta.

A última versão da ASHRAE 55, outra conhecida norma que teve sua última revisão feita no ano de 2010, se baseia nas mesmas condições determinadas pela ISO 7730 e desde a sua versão do ano de 2004 incorporou pesquisas relevantes como a de De Dear e Brager (1998), que incluíram o conceito de modelo adaptativo que relaciona as temperaturas internas ao clima externo.

Este modelo adaptativo, foi baseado no banco de dados da ASHRAE com medições em diversos edifícios de diversos países de zonas climáticas diferentes (excluindo-se o Brasil) e leva em consideração três pontos, além de reforçar a capacidade adaptativa do ser humano. Estes pontos são: o comportamento humano em relação a mudanças – roupas, atividade postural ou posicionamento na edificação; as características fisiológicas de termo-regulação – que dependem da aclimatação ou das características do grupo; características psicológicas – expectativa, alteração de reação e sentidos (ASHRAE JOURNAL, 2000).

No Brasil, trabalhos como os de Ruas e Labaki (1998), Xavier e Lamberts (1997), Beyer e Salvadoretti (1998), Xavier (2000), Hackemberg (2000), Gouvêa (2004), Barbosa (2004), Andreasi (2009), Andreasi et al (2010), Candido et al (2010), também trataram do tema avaliação de conforto térmico. Todavia, apesar de alguns deles terem sido feitos em ambientes de trabalho, nenhum deles foi desenvolvido em áreas de restaurantes fazendo uma análise da aplicabilidade das normas ISO 7730 e ASHRAE 55 neste tipo de ambiente.

A Universidade Estadual de Campinas – Unicamp (Campus Campinas), atualmente em seu restaurante universitário (RU), com capacidade para oitocentas pessoas sentadas, diariamente prepara em sua cozinha, que apresenta características industriais, em torno de treze mil refeições que são fornecidas para alunos e funcionários do estabelecimento (ver Figura 1).



Figura 1 - Restaurante Universitário em funcionamento: (A) refeitório; (B) fila para se servir (NUCCI, 2011).

Este trabalho realizou medições internas no local acima citado. Estas medições testaram a aplicabilidade das normas ASHRAE 55, com seu modelo adaptativo, e a ISO 7730, que se baseia no modelo de balanço de calor. Embora as normas sejam baseadas em abordagens matemáticas, os estudos de De Dear e Brager (1998) demonstraram que ambas tem aplicabilidade diferenciada quanto ao tipo de ambiente, sendo a ISO 7730 melhor aplicada para ambientes climatizados e a ASHRAE 55 para ambientes naturalmente ventilados (ASHRAE JORNAL, 2000). Além disso, ambas as normas utilizaram bases de dados restritas a laboratórios e pesquisas de campo em ambientes de escritório, respectivamente. Por isso, utilizar tais normas em uma região termicamente distinta das utilizadas nos bancos de dados das normas, especialmente em ambientes de restaurante, ao qual há uma carência literária sobre conforto térmico, viria ao interesse de testar a aplicabilidade destas normas nestes ambientes.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o conforto térmico dos trabalhadores de um restaurante universitário do campus de Campinas da Unicamp, fazendo uma comparação entre a sensação térmica real dos trabalhadores, o modelo PMV e o modelo adaptativo das normas ISO 7730 e ASHRAE 55, respectivamente.

3. MÉTODO

O método para a obtenção dos dados foi a realização um estudo de campo com medições das variáveis ambientais e pessoais, além da aplicação de questionários para inferir a sensação térmica real dos trabalhadores do RU. Através dos dados obtidos nesta etapa, foram comparados os resultados utilizando os métodos PMV e adaptativo sugeridos pelas normas ISO 7730 e ASHRAE 55 com a sensação térmica real dos trabalhadores do local.

A metodologia seguida foi realizadas em etapas, onde a primeira foi a caracterização do restaurante, obtendo-se informações sobre o projeto, uso e ocupação. Em seguida foi feita a delimitação das zonas e períodos de medições onde foi feita a definição das áreas de medição que seriam importantes fontes de calor para os funcionários do estabelecimento e período de avaliação. A terceira etapa foi a obtenção das variáveis pessoais onde foram coletados dados através de observação e entrevistas aos funcionários do local sobre a sensação e preferência térmicas, bem como das variáveis pessoais. Simultaneamente foram realizadas as medições das variáveis ambientais. Após esta etapa, calculou-se a temperatura radiante média e velocidade do ar nos locais estabelecidos no período de verão. A sexta etapa foi a análise dos dados coletados, obtendo-se o PMV e a temperatura operativa, para análise estatística e comparação dos resultados pelos métodos da ISO 7730 e da ASHRAE 55, além do cálculo por meio da probabilidade de ocorrência por regressão Probit, onde os resultados foram avaliados de forma a estabelecer uma correlação entre os resultados obtidos pelas normas e a sensação real dos trabalhadores.

3.1. Delimitação das zonas e períodos de medições

O restaurante pesquisado se localiza no Campus da Unicamp em Campinas, próximo ao ciclo básico e ao lado da Biblioteca Central. Tem capacidade para oitocentas pessoas sentadas e diariamente são preparadas em sua cozinha em torno de treze mil refeições. Foi escolhido este restaurante por este possuir cozinha com características industriais.

Foram determinados pontos de medições que eram importantes fontes de calor ou frio para os funcionários do RU e o período de avaliação (dias, frequência e duração) para levantamento de medições.

Dentro do RU foram definidos 3 (três) pontos de medição segundo sua relevância para a pesquisa (ver figura 2A).

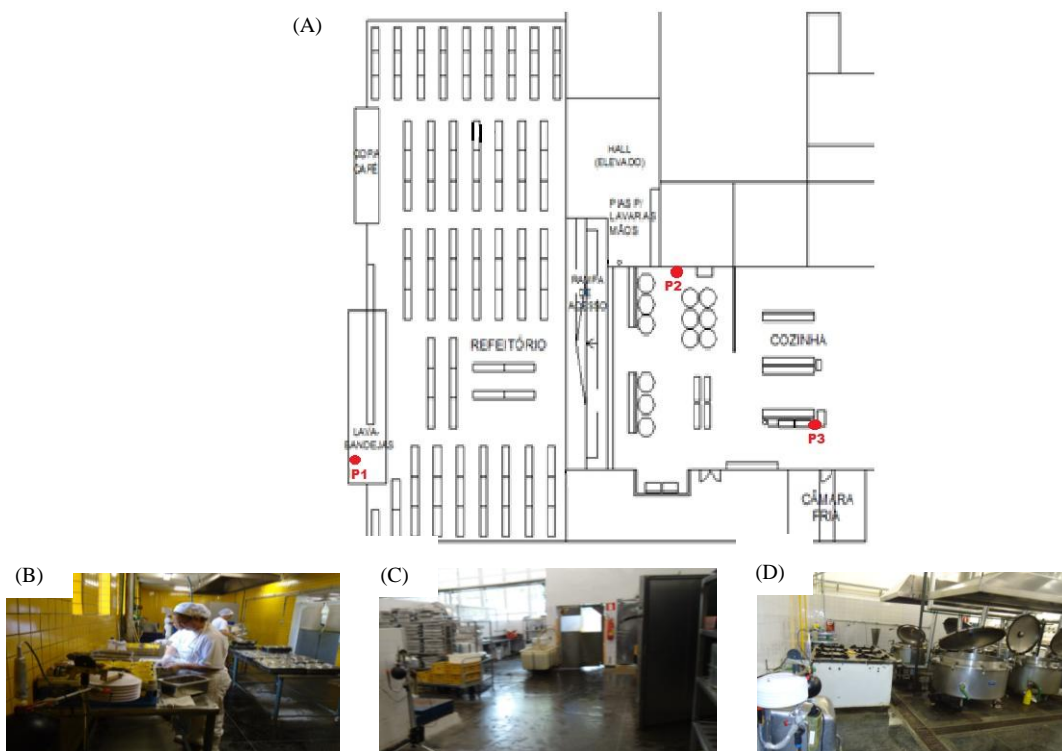


Figura 2 - Pontos de medição no RU: (A) croqui do restaurante; (B) ponto 01; (C) ponto 02 e (D) ponto 03.

O primeiro ponto localiza-se na área de lava-bandejas, pois acreditava-se que era uma área com bastante calor e umidade devido ao vapor liberado pela máquina que lava/esteriliza as bandejas (ver figura 2B). O trabalho neste pequeno espaço é de fluxo praticamente contínuo, com algumas horas de pico durante o almoço e o jantar. Ficando diversos trabalhadores nesta área de poucos metros quadrados disputando espaço com uma máquina quente, que solta vapor. As janelas são escassas e insuficientes.

O segundo ponto se situava em uma área funcional próxima ao frigorífico do restaurante (ver figura 2C). Esta parte possuía características distintas das do resto do restaurante. Acreditou-se que seria interessante saber se naquele local haveria ou não o problema de desconforto por frio.

O terceiro ponto ficava localizado perto da zona de caldeiras na cozinha, área também funcional, com grande concentração de calor. Esta área possuía 9 grandes caldeiras e mais um fogão grande onde eram preparadas diariamente as cerca de 13 mil refeições para o almoço e o jantar (ver figura 2D).

Foram coletados em pesquisa de campo por meio de monitoramento das variáveis ambientais internas de interesse: a temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura de globo e velocidade relativa do ar, nos locais estabelecidos, no período do verão no RU, em dias de funcionamento normal do restaurante. Estes dias foram: 19, 21 e 23 de março de 2012. As medições foram realizadas nos turnos do almoço (das 10:30 às 14 horas) e jantar (das 17:30 horas às 19:45), com registros a cada 15 minutos.

3.2. Variáveis ambientais e equipamentos utilizados para medição Equipamentos utilizados na medição das variáveis ambientais

As variáveis ambientais utilizadas e medidas durante o trabalho foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar. Segundo recomendações da norma ISO 7726 (1998) os equipamentos de medição das variáveis ambientais devem estar colocadas a uma altura de 0,1 (nível dos pés), 1,1m (nível do abdômen) e 1,7m (nível da cabeça) para pessoas em pé. Todavia, devido ao grande número de pontos que isso implicaria e o reduzido número de equipamentos disponíveis, os equipamentos foram colocados em tripés e fixados numa altura de 1,70 do piso.

A temperatura do ar é a principal variável do conforto térmico. Ela é uma das determinantes da sensação de conforto em um indivíduo, pois esta sensação baseia-se na perda de calor do corpo pela diferença de temperatura entre o ar e a pele. Quando a temperatura do ar está alta, menores são as perdas de temperatura do indivíduo. Logo, quando a temperatura está mais baixa, essas perdas são maiores

(LAMBERTS et al, 2005). As medições da temperatura do ar foram feitas com a utilização de um registrador de temperatura da marca Testo, modelo 175 - T2 (ver figura 3A).

Outra variável ambiental é a umidade relativa do ar. O que caracteriza a umidade relativa do ar é a quantidade de vapor d'água contido no ar. Esse vapor é formado pela evaporação da água, sem que esta altere sua temperatura. Deste modo, a umidade relativa do ar é responsável pela identificação da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera (LAMBERTS et al, 2005).

A umidade relativa do ar varia com a temperatura do ambiente, ou seja, quanto maior for esta, maior será a quantidade de vapor d'água (MACIEL, 2006). A umidade relativa do ar também interfere na sensação térmica das pessoas. A sensação de calor é maior quando a umidade relativa for mais alta. Além disso, a alta umidade dificulta a evaporação no corpo (CHVATAL; LABAKI; KOWALTOWSKI, 1999). Para coletar a umidade foi utilizado um registrador de temperatura e umidade da marca Testo, modelo 175 - H1 (figura 3B).

A velocidade do ar segundo Lamberts et al (2005, p.11), é uma variável importante para o conforto pois "O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação do corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor". Para medir a velocidade do ar foi utilizado um sensor de esfera quente de 3mm da marca Testo, modelo 06351549 conectado a um registrador multifunção também da marca Testo, modelo 445 (ver figura 3C).

A temperatura radiante média de um local é aferida através dos valores da temperatura de globo, velocidade do ar na altura do globo e a temperatura do ar. A temperatura de globo é a temperatura de equilíbrio na área central interior da esfera que é parte integrante do termômetro de globo (RUAS, 1999).

O cálculo da temperatura radiante média se fundamenta no fato de que o globo ao atingir seu ponto de equilíbrio térmico com o ambiente ao trocar calor por radiação com as superfícies circundantes é igual à troca de calor por convecção entre o globo e o ar. Esta troca de calor por convecção depende da velocidade do ar que incide sobre o globo (RUAS, 1999).

A obtenção da temperatura de globo contou com um sensor de temperatura da marca Testo, conectado no registrador de temperatura do modelo 175-T2 (ver figura 3D).



Figura 3 - Equipamentos utilizados na medição das variáveis ambientais: (A) registrador de temperatura; (B) registrador de temperatura e umidade; (C) registrador multi-função e sensor de esfera quente; (D) sensor de temperatura inserido no globo.

A temperatura média externa mensal utilizada para calcular o modelo adaptativo, no período em que foram realizadas as medições, foi de 26°C. Valor este obtido através do cálculo da média aritmética das temperaturas médias externas máxima e mínima mensal, disponibilizadas pelo CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura da Unicamp, localizada a aproximadamente 1Km do RU.

3.3. Obtenção das variáveis pessoais

Através da aplicação de um questionário com a população pesquisada foram coletadas informações sobre a sensação de conforto e preferências térmicas, vestimenta e atividade exercida no momento, além de registradas informações como sexo, idade, altura, peso. Estes questionários foram aplicados a cada intervalo de 30 minutos.

A partir das informações obtidas nos questionários, foram calculadas as taxas de metabolismo (met) e isolamento térmico da vestimenta (clo) no programa Conforto 2.03 (RUAS, 2002).

3.4. Cálculo do PMV

Para calcular os valores de PMV, foram inseridos no Programa Conforto 2.03 de Ruas (1999) os valores das variáveis ambientais medidas em campo e os dados das variáveis pessoais obtidos nos três pontos de medição.

Segundo Ruas (1999), este programa foi desenvolvido com base nas normas ISO 7730 (1994), ISO 8996 (1990), ISO 9920 (1995) e ISO 7726 (1998), visando a avaliação do conforto térmico em ambientes construídos pelos principais fatores que interveem na sensação térmica das pessoas, que são a taxa metabólica, isolamento térmico da roupa, temperatura radiante média, temperatura do ar, umidade e velocidade relativa do ar. O programa também possibilita a simulação de diferentes interferências nos ambientes, o que colabora no processo de tomada de decisões para alterações no que diz respeito a melhoria da sensação térmica, em especial, nos locais de trabalho.

3.5. Método de análise de dados

Os resultados dos cálculos gerados pelo programa Software Conforto 2.03 foram analisados e tratados estatisticamente através da utilização de regressão linear simples e análise Probit no programa Matlab para a elaboração de gráficos.

A regressão linear simples é um modelo matemático utilizado para descrever e prever fenômenos observados, o qual relaciona as variáveis envolvidas no mesmo através de uma função (GUERRA e DONAIRE, 1979).

Para a determinação da temperatura de neutralidade e a correspondente porcentagem de insatisfeitos foram realizadas análises Probit, que consistem em um modelo de regressão não linear cujo objetivo é identificar as probabilidades de um fato ocorrer em variáveis binárias (sim ou não, falha ou sucesso, etc).

O modelo Probit analisa variáveis de interesse a partir das variáveis preditas que servem para nortear estatisticamente a probabilidade das respostas. As variáveis são definidas como explicativas e de respostas, sendo as explicativas variáveis independentes (temperatura operativa) e as de respostas dependentes (variável térmica obtida no questionário).

Posteriormente estes resultados foram comparados entre a sensação térmica real dos trabalhadores, o PMV e o modelo adaptativo para elaboração de texto e tabelas ilustrando os resultados obtidos.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nos três dias de medição foram coletados, no ponto 1, o total de 120 (cento e vinte) questionários sobre sensação térmica dos funcionários. No ponto 2 esse número foi de 112 (cento e doze) e no 3 de 116 (cento e dezesseis) questionários respondidos. O que totalizou o número de 348 (trezentos e quarenta e oito) amostras de sensação térmica coletadas no RU no período indicado. A porcentagem de homens e mulheres que frequentam o espaço é de 46% e 54%, respectivamente. Com relação as atividades desenvolvidas, eram apenas de funcionários do RU, por esta ser uma área de acesso restrito.

Na tabela 1A são apresentados os valores médios e desvios padrões de algumas características pessoais (idade, altura e peso) da população pesquisada. A média da idade em anos foi de 40,25, com desvio padrão de 9,22. A altura média foi de 1,65 m (desvio padrão de 0,08) e o peso foi de 73,73 kg, desvio padrão de 13,15.

Tabela 1A - Variáveis pessoais adquiridas pela aplicação de questionários.

Ponto		1	2	3	Total
Tamanho da amostra		120	112	116	348
Idade (anos)	média	36,22	39,61	44,92	40,25
	desvio padrão	7,45	11,01	9,19	9,22
Altura (m)	média	1,64	1,65	1,65	1,65
	desvio padrão	0,08	0,07	0,08	0,08
Peso (kg)	média	73,57	74,25	73,38	73,73
	desvio padrão	13,91	13,38	12,16	13,15

Tabela 1B - Variáveis pessoais calculadas utilizando o software Conforto 2.03, com base nos registros feitos em campo.

Ponto		1	2	3	Total
Tamanho da amostra		120	112	116	348
Vestimenta (clo)	média	1,49	1,49	1,48	1,49
	desvio padrão	0,47	0,54	0,47	0,49
Metabolismo (met)	média	1,66	1,68	1,77	1,70
	desvio padrão	0,31	0,46	0,37	0,38

Na tabela 1B também são apresentados os valores médios e desvios padrões de algumas variáveis pessoais (vestimenta e metabolismo) além das variáveis ambientais do local e da população pesquisada. No verão, através desses dados, são obtidos os parâmetros de conforto térmico dos 348 (trezentos e quarenta e oito) votos de sensação térmica coletados.

Para as variáveis pessoais a média da taxa de metabolismo foi 1,70 met (desvio padrão = 0,38), a média do isolamento térmico das vestimentas foi de 1,49 clo (desvio padrão de 0,49).

Tabela 2 - Variáveis ambientais.

Ponto		1	2	3	Total
Tamanho da amostra		120	112	116	348
Temperatura do ar (°C)	média	27,42	26,11	27,25	26,93
	desvio padrão	1,25	0,76	0,88	0,96
	mínimo	23,90	24,40	24,90	24,40
	máximo	29,40	27,20	28,60	28,4
Temperatura Radiante Média (°C)	média	27,72	26,44	27,03	27,06
	desvio padrão	0,94	0,72	0,73	0,80
	mínimo	25,00	24,30	25,40	24,90
	máximo	29,60	27,90	28,30	28,6
Velocidade do Ar (m/s)	média	0,10	0,07	0,13	0,10
	desvio padrão	0,07	0,05	0,10	0,07
	mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
	máximo	0,42	0,22	0,36	0,33
Umidade Relativa (%)	média	75,34	72,64	83,18	77,05
	desvio padrão	7,97	4,18	8,80	6,98
	mínimo	59,60	63,60	61,00	61,40
	máximo	89,70	79,80	98,70	89,40
Temperatura Operativa (°C)	média	27,57	26,27	27,15	27,00
	desvio padrão	1,05	0,71	0,76	0,84
	mínimo	24,45	24,40	25,35	24,73
	máximo	29,45	27,55	28,45	28,48

Em relação as variáveis ambientais, apresentados na tabela 2, a temperatura média do ar coletada, nos dias de medições foi de 26,93°C (desvio padrão de 0,96), a temperatura mínima do ar foi de 24,4°C e a máxima de 28,4°C. A temperatura radiante obteve a média de 27,6°C (desvio padrão de 0,8). A velocidade do ar média foi de 0,10m/s (desvio padrão de 0,07) e a umidade relativa média foi de 77,05% (desvio padrão = 6,98). Quanto a temperatura operativa, a média obtida foi de 27°C e seu desvio padrão foi de 0,84.

Os valores baixos da velocidade do ar se devem pelo fato de ser um ambiente interno, sem correntes de vento significativas passando pelos pontos de medição. Os valores de met e clo utilizados foram obtidos a partir das informações coletadas *in loco* e calculados através do programa Conforto 2.03 de Ruas (2002), que utiliza os dados base constantes nos anexos das normas ISO 7730 e ASHRAE 55 sobre valores de isolamento térmico das vestimentas.

A relação PMV x Sensação térmica dos pontos 1, 2 e 3 pode ser analisada através da figura 4A. Por ser um local quente, a maioria dos votos ficaram entre +2 e +3. Pelas medições terem sido efetuadas em um ambiente real, não se tem o controle de todas as variáveis (ambientais e pessoais), por isso os resultados encontrados são de natureza exploratória.

Podemos observar que há uma correlação de 5,7% entre o PMV (calculado) e os votos de sensação térmica (coletados) para as mesmas condições ambientais.

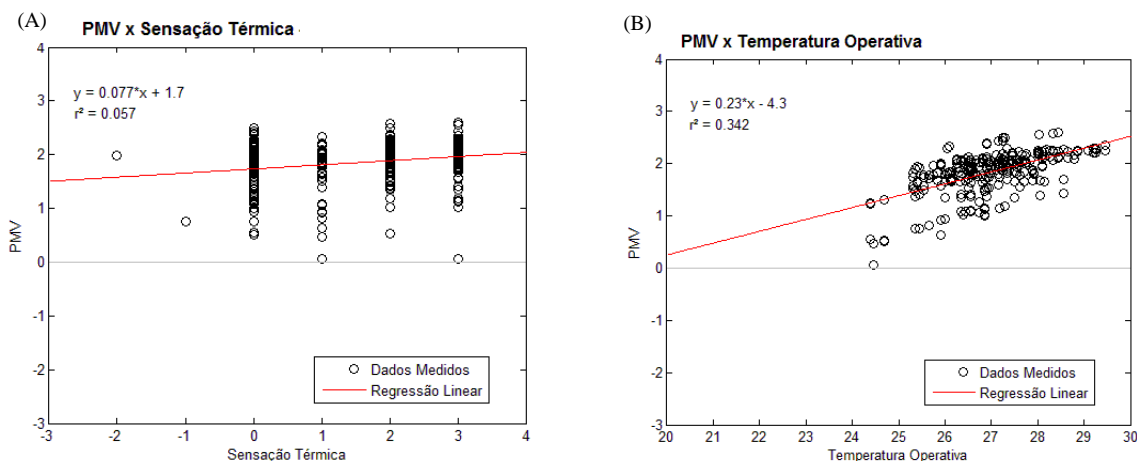


Figura 3 - Análises de verão dos pontos 1, 2 e 3: (A) PMV x sensação; (B) PMV x temperatura operativa.

Do mesmo modo, utilizando o mesmo critério, também buscou-se por meio do Modelo de Regressão Linear Simples, uma zona de conforto para a relação entre o PMV com a temperatura operativa (ver figura 4B). A correlação entre os dados calculados do foi de 34,2% no verão.

As faixas de conforto calculadas foram: para o intervalo de $\pm 0,2$ PMV foi entre 17,8°C a 19,6°C; para o intervalo de $\pm 0,5$ PMV foi entre 16,5°C a 20,9°C; para o intervalo de $\pm 0,7$ PMV foi entre 15,6°C a 21,7°C.

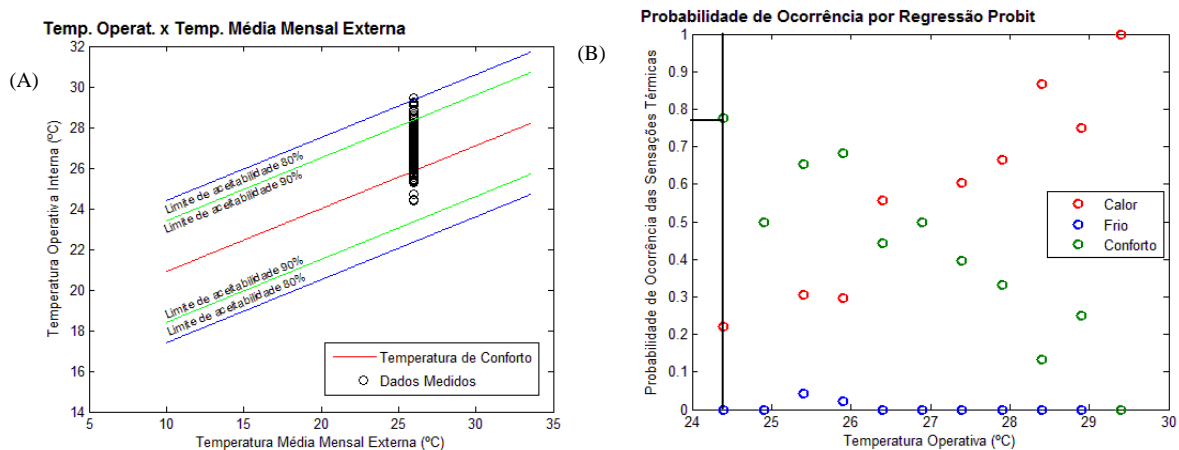


Figura 5 - Análises de verão dos pontos 1, 2 e 3: (A) temperatura operativa x temperatura mensal externa; (B) probabilidade de ocorrência por Probit.

Ao analisarmos através do modelo adaptativo da ASHRAE 55, a temperatura operativa e a temperatura média mensal externa para o mesmo grupo analisado, percebemos que a grande maioria das pessoas entrevistadas encontravam-se dentro da faixa de conforto (ver figura 5A). Pela utilização deste método, um total de 91,1% de pessoas se encontra dentro de uma faixa de aceitabilidade de 90%, 98,8% dentro de uma faixa de 80% de aceitabilidade e apenas 1,2% fora dessa zona de conforto.

Por meio de análise da probabilidade de ocorrência por regressão Probit foi possível identificar a probabilidade de ocorrência de calor, conforto e frio em função da temperatura operativa em cada conjunto de pontos no verão.

A partir disso pode-se encontrar a temperatura de neutralidade e a correspondente porcentagem de insatisfeitos. A figura 5B foi elaborada com os dados resultantes da análise Probit e mostra as curvas de sensação em função da temperatura operativa. Desta forma pode-se encontrar a temperatura de neutralidade e a sua correspondente porcentagem de insatisfeitos.

A temperatura de neutralidade dos pontos 1, 2 e 3, no verão, foi de 24,4°C o que corresponde a 78% da população em conforto térmico e 22% em desconforto. Estes valores foram obtidos da interseção das regressões simples de calor e frio, que por sua vez, tendem a coincidir com o máximo nível de conforto do gráfico.

Também devemos levar em consideração que a situação exposta neste trabalho é até certo ponto diferenciada das encontradas nas normas base. O modelo PMV foi desenvolvido em ambientes de laboratório e o modelo adaptativo foi baseado em medições de campo de situações de trabalho (escritórios) diferentes das encontradas no estudo de campo do artigo.

Outros fatores que são limitantes neste estudo e que acabam por influenciar nos resultados encontrados são a quantidade de amostras obtidas (relatórios e dias de medições), o período das medições (considerou-se somente o verão), as respostas dos questionários que podem não terem sido bem entendidos, mesmo tendo-os explicado e o fator de vestimenta "clo" e o de atividade "met" medidos foram maiores do que os limites sugerido para aplicabilidade das normas.

5. CONCLUSÕES

Estes resultados mostraram que com a probabilidade de ocorrência por regressão Probit foi possível analisar a probabilidade de ocorrência por calor, conforto e frio e a temperatura de neutralidade térmica da população estudada no período de verão. A temperatura de neutralidade encontrada, na qual o máximo percentual de conforto no verão ocorreu, foi à uma temperatura operativa de 24,4°C, o que corresponde a um percentual de 83% de pessoas satisfeitas. Para esses pontos, a temperatura de neutralidade térmica no verão segundo o modelo PMV/PPD foi de 23,3°C.

É possível que a diferença de 1,1°C entre a temperatura de neutralidade pelo modelo PMV/PPD e a temperatura operativa segundo a probabilidade de ocorrência por regressão Probit seja devido ao fato do modelo PMV ser baseado em medições laboratoriais, com ambiente climatizado e as deste trabalho baseadas em pesquisa de campo em ambientes naturalmente ventilados. O próprio estudo incluído na ASHRAE 55 mostrou que o modelo PMV não seria o mais indicado para ambientes naturalmente ventilados por desconsiderarem fatores importantes de adaptação humana. No caso de ambientes climatizados as pessoas desenvolvem altas expectativas por temperaturas mais amenas e homogêneas (ASHRAE JORNAL, 2000).

Pelo método da ASHRAE 55 (2010), encontrou-se uma temperatura operativa de 26°C, com o percentual de 98,8% pessoas na faixa de 80% aceitabilidade e 91,1% na faixa de 90% de aceitabilidade. Apenas 1,2% das pessoas entrevistadas ficou fora dessa faixa de conforto. A temperatura operativa encontrada utilizando o modelo adaptativo apresentou diferença de 1,6°C da probabilidade de ocorrência.

Acredita-se que isto ocorreu devido a própria norma ASHRAE 55 mencionar que, para ambientes naturalmente ventilados, as faixas de aceitabilidade térmica são maiores, e tendem a refletir com maior precisão os padrões locais das mudanças climáticas externas devido a adaptação dos usuários do local.

Diante dos resultados apresentados neste trabalho é possível perceber que as faixas de conforto térmico e temperatura de neutralidade obtidas por meio dos votos da população pesquisada são parcialmente semelhantes às recomendadas pela ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2010).

Percebeu-se que a maior discrepância quanto a temperatura de neutralidade foi encontrada entre as normas ISO 7730 e ASHRAE 55 (2,7°C). Resultado esse esperado, visto que o modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2010) considera o quão adaptados os indivíduos estão ao ambiente mesmo que esse seja considerado desconfortável segundo a ISO 7730 (2005).

Outros fatores que podem ter influenciado nos resultados são o ambiente no qual o trabalho foi realizado, a quantidade de amostras, o período de coleta das amostras e o entendimento dos questionários. Além disso, o isolamento térmico da vestimenta e a taxa metabólica foram maiores que os sugeridos pelas normas.

É importante ressaltar que este trabalho dá uma importante contribuição no que diz respeito a medições de conforto térmico em restaurantes, ambientes esses carentes de literatura quanto a este tipo de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE JORNAL. **A Standard for Natural Ventilation**. Vol. 42, no. 10, October 2000, Pages 21-28.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, **ASHRAE 55**; Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2010.
- ANDREASI, Wagner Augusto. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Florianópolis. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. SC. 2009. 204p.
- ANDREASI, Wagner Augusto; LAMBERTS, Roberto; CÂNDIDO, Christhina. **Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil**. Original Research Article. Building and Environment, Volume 45, Issue 5, May 2010, Pages 1225-1232
- BARBOSA, M.M.P. **Avaliação de conforto térmico na indústria moveleira de Itatiba, SP**. Dissertação (Mestrado), UNICAMP, Campinas, 2004.
- BEYER, P.; SALVADORETTI, J.L. **Avaliação do conforto térmico ambiental**. In: MERCOFRIO 98 - Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, 1998, Porto Alegre - RS. Anais... Porto Alegre: Paulo Beyer, 1998.
- DE DEAR, R.; BRAGER, G. **Thermal Adaptation in the Built Environment: A Literature Review**”, Energy and Buildings, V.27(1), p.83-96. 1998.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. McGraw-Hill, New York, USA. 1972.
- GOUVÊA, T. C. **Avaliação do conforto térmico: uma experiência na indústria da confecção**, Campinas, SP, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 7726 (1998)**; Ergonomics of the thermal environment -- Instruments for measuring physical quantities. Genebra. 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 7730 (2005)**; Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra. 2005.
- RUAS, Alvaro Cesar. **Avaliação de conforto térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Campinas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. SP. 1999. 83p.
- RUAS, Alvaro Cesar. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Campinas. Tese de doutorado em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. SP. 2002. 182p.
- RUAS, Alvaro Cesar ; LABAKI, L. C. . **Cuidados na aplicação prática da ISO 7730**. In: Mercofrio 98 - Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, 1998, Porto Alegre, RS. Anais do Mercofrio 98. Porto Alegre, RS : ASBRAV, 1998.
- XAVIER, A.A.P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividade sedentária**. Teoria física aliada a estudos de campo. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.
- XAVIER, A.A.P., LAMBERTS, R. **Temperatura interna de conforto e porcentagem de insatisfeitos para atividade escolar: Diferença entre a teoria e a prática**. In: ENCAC1997 – IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador/BA. Anais...Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 1997.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelos recursos financeiros, aos técnicos do LaCAF e ao engenheiro Harney Abraham.