

Análise do modelo de conforto térmico em um ambiente industrial do ramo metal mecânico localizado em Ponta Grossa, Paraná, Brasil

P.Norma de Melo (Instituto Federal do Espírito Santo) normap@ifes.edu.br
Xavier,A.A.P (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) augustox@utfpr.edu.br
RegianeT. Do Amara (Instituto Federal do Espírito Santo) teodoroamaral@gmail.com

Resumo:

Este estudo tem por objetivo identificar a correlação entre o Voto Médio Predito (PMV) de ISO 7730/2005 com as sensações térmicas (S) de 51 empregados, estabelecendo uma equação de regressão linear múltipla entre eles. A medição das variáveis ambientais seguiu padrões da ISO7726/1996. A pesquisa foi realizada em uma indústria metalúrgica em Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Foi aplicado o modelo físico do conforto térmico pesquisado por Fanger (1970), às variáveis ambientais e nos dados subjetivos sobre as sensações térmicas dos empregados. A pesquisa foi realizada em maio e novembro de 2010 com 48 medições. Este estudo servirá como base para uma dissertação composta de 72 medições.

Palavras chave: Conforto Térmico, Modelo Fanger, Indústria Metal mecânica.

Analysis of the thermal comfort model in a metal mechanic industrial environment located in Ponta Grossa, Paraná, Brazil

Abstract

This study aims to identify the correlation between the Predicted Mean Vote (PMV) of ISO 7730/2005 with the thermal sensations (S) of 51 employees, establishing a multiple linear regression equation between them. The environmental variables measurement followed ISO7726/1996 standards. The research was conducted in a metallurgical industry in Ponta Grossa, Paraná, Brazil. We applied the thermal comfort physical model researched by Fanger (1970) to the environmental variables and subjective data of employee thermal sensations. The survey was conducted in May and November 2010 with 48 measurements. This study will serve as a basis for a dissertation consisting of 72 measurements.

Key-words: Thermal Comfort, Fanger Model, Metal Mechanical Industry

1. Introdução

1.1 Conforto térmico

O conforto térmico de acordo com uma resposta de um dos pesquisados “é uma sensação agradável de temperatura do ar que dá vontade de trabalhar”. A temperatura do ar é uma das variáveis ambientais a ser medida no ambiente, porém são quatro variáveis ambientais e duas pessoais que são medidas e tabeladas nos estudos de conforto térmico do ambiente.

Mas o que é precisamente Conforto Térmico? Está definido na Norma ISO 7730 como sendo “Aquela condição de mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. A ISO apresenta uma definição que expressa a imaginação da pessoa quanto a seu contentamento num lugar quente, frio ou agradável. Porém ao falar em térmico, necessitam-se de medições com normalização para que parâmetros possam ser comparados e analisados.

Conforto térmico é a satisfação do indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

De acordo com Fontanella (2009) os estudos iniciais sobre conforto avaliavam de que maneira as condições termo higrométricas afetavam o rendimento do trabalho. Estes estudos propunham a criação de índices de conforto térmico, que procuravam englobar, em um único parâmetro, diversas variáveis como a atividade exercida pela pessoa, o tipo de vestimenta e os parâmetros ambientais que proporcionavam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Destaca-se no grupo dos índices classificados como teóricos, o proposto por Fanger (1972), e também os propostos por Olgyay (1963), Szokolay (1987), Givoni (Givoni, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. *Rev. Energy and Buildings*. Lausanne: v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992).

Segundo Xavier (1999, p.1) o embasamento dos estudos de conforto térmico encontra-se no balanço térmico verificado entre o homem e o ambiente a seu redor e teve impulso pelos estudos em câmaras climatizadas de Fanger (1970), na Dinamarca e encontram-se normalizados na ISO 7730 (International Organization for Standardization - *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort*, ISO 7730, Genebra, 2005)..

A equação do balanço térmico, segundo a troca de calor entre o corpo e o ambiente é dada pela equação [1]:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} \quad [1]$$

onde:

M = taxa metabólica de produção de calor, (W/m²);

W = taxa de eficiência mecânica, (W/m²);

Q_{SK} = taxa total de perda de calor pela pele, (W/m²);

Q_{RES} = taxa total de perda de calor através da respiração, (W/m²);

O homem tem um sistema termo regulador de temperatura muito eficaz que garante que a temperatura corporal seja aproximadamente 37°C. Quando aumenta a temperatura corporal, há uma vasodilatação periférica, aumenta o fluxo de sangue pela pele, a pessoa começa a suar. A

evaporação do suor, retira do corpo o calor, mantendo-o aproximadamente em 37° C.

Quando o corpo começa a esfriar os vasos sanguíneos contraem, reduzem o fluxo de sangue na pele, aumentando a produção interna de calor estimulando os músculos a tremer. Os sensores de calor e frio estão na pele e no hipotálamo. Os sensores defendem o corpo quando a pele esfria abaixo de 34°C.

Os estudos de conforto térmico têm por objetivo analisar e estabelecer condições para que se possa avaliar se um ambiente térmico está ou não adequado às atividades e ocupações humanas e também tem o objetivo de estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica do ambiente.

1.2 Variáveis ambientais e pessoais

De acordo com Fanger (1970) o grupo das variáveis ambientais medidas no ambiente é composto pela Temperatura do Ar (T_a); Temperatura Média Radiante (T_{rm}); Velocidade Relativa do Ar (V_{ar}) e a Umidade Relativa do Ar (UR). Esse grupo mede a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente. Pelo mesmo autor o grupo das variáveis pessoais é composto pela Taxa Metabólica (M), obtida através de tabela conforme a ISO 8996/2004 e Isolamento Térmico das Vestimentas (I_{cl}), obtido segundo a ISO 9920 (International Organization for Standardization - *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, ISO 9920, Genebra, 2007. Second edition 2007-06-01).

1.3 Variáveis pessoais

1.3.1 A taxa metabólica (M)

A ISO8996/2004 esclarece que a taxa metabólica (M) mede o custo energético de carga muscular e dá um índice numérico por atividade sendo um importante determinante nos estudos de conforto térmico. Nos climas quentes os níveis de produção de calor metabólico associados com trabalho muscular aumentam o calor corporal e sua dissipação será por evaporação de suor.

O metabolismo que é o resultado da atividade é medido em unidade “met”. 1 met, que corresponde a 58,2 W/m², é igual a energia produzida por unidade de área superficial do corpo para uma pessoa sentada em repouso

As tabelas desta Norma Internacional dizem respeito ao indivíduo comum

- um homem com 30 anos pesando 70 Kg e 1,75 m de altura (tem área de superfície de corpo 1,8 m²);

- uma mulher com 30 anos pesando 60 Kg e 1,70 m de altura (tem área de superfície de corpo 1,6 m²).

Os usuários devem fazer correções apropriadas quando eles estiverem lidando com populações especiais inclusive crianças, pessoas idosas, pessoas com inaptidões físicas, etc.

Nos estudos de conforto e estresse térmicos em que são necessários cálculos da área de pele que limita a máxima quantidade de suor por dia, para o ser humano, usa-se a equação [1] de DuBois

$$A_{Du} = 0,202.m^{0,425}.l^{0,725}$$

[1]

onde:

A_{Du} = área superficial do corpo nu, ou área do DuBois (m²);

m = massa do corpo (kg);

l = altura do corpo (m).

1.3.2 O isolamento térmico das vestimentas (Icl)

O isolamento térmico representa a resistência à troca de calor sensível através de um conjunto de roupas.

O isolamento térmico das roupas é medido pela unidade "Icl". O "Icl", expresso em m².K/W ou em "clo", sendo que 1 clo equivale a 0,155 m².K/W. A determinação desses valores foi feita utilizando-se manequins aquecidos, (Fanger, 1970), sendo que os resultados dessas determinações encontram-se devidamente tabelados nas normas e manuais ASHRAE (1997), ISO 7730 (2005), ISO 9920 (International Organization for Standardization - *Ergonomics of the thermal environment —Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, ISO 9920, Genebra, 2007. Second edition 2007-06-01).

De acordo com os ensinamentos do pesquisador Ole Fanger (1972), "Neutralidade térmica é a condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente a seu redor".

Para Shin-Iche Tanabe (1984), no entanto: "Neutralidade térmica é a condição da mente que expressa satisfação com a temperatura do corpo como um todo".

1.3.3 Determinação dos índices PMV (predicted mean vote) e PPD (predicted percentage of dissatisfied)

1.3.3.1 O índice PMV

Segundo a ISO 7730/94, o índice PMV (Predicted Mean Vote) Voto Médio Preditivo, indica a sensação térmica das pessoas, representada pela escala seguinte:

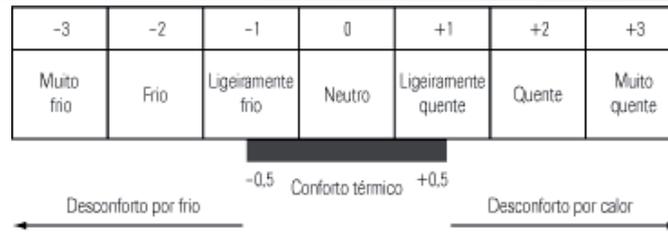


Figura 1: Escala de Sensação Térmica

Fonte: ISO 7730/05

1.3.3.2 O índice PPD

O índice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) que indica a Percentagem de Pessoas Insatisfeitas com as condições térmicas de um ambiente estando diretamente relacionado com o PMV pode ser obtido a partir dos mesmos dados e software utilizado no cálculo do PMV, ou por meio do esquema destacado abaixo:

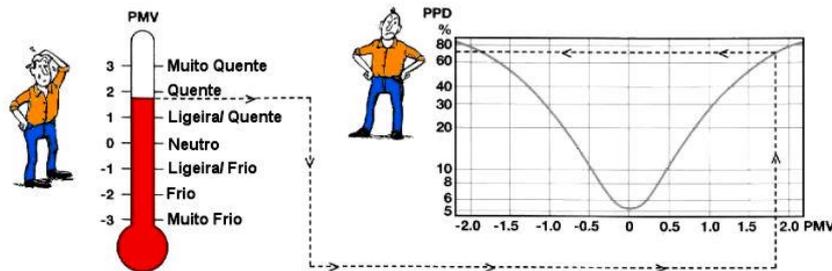


Figura 2: Percentagem de Pessoas Insatisfeitas em função do Voto Médio Estimado (PMV)

Fonte: Innova

A equação [2] para calcular a Percentagem de Pessoas Insatisfeita PPD usa os valores do PMV.

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

2. Objetivo

O objetivo deste artigo é identificar a correlação entre o Voto Médio Preditado (PMV) denominado de modelo de conforto térmico estudado por Fanger (1970) e normalizado pela ISO 7730/2005 com as sensações térmicas (S) declaradas por 51 funcionários em 48 medições de seis variáveis ambientais e duas variáveis pessoais, denominadas sensações reais, através de uma análise de regressão buscando estabelecer uma equação entre Sensação (S) e as seis variáveis do modelo, identificando as variáveis que exercem a maior influência na Sensação térmica da maioria dos funcionários.

3. Procedimentos metodológicos

As variáveis analisadas são compostas por dois grupos: variáveis ambientais e variáveis pessoais. Para a coleta das variáveis ambientais utilizou-se o equipamento Confortímetro Sensu conforme a Norma ISO 7726/1996 com registro das medições a cada 30 minutos na jornada de trabalho. Para o grupo das variáveis pessoais composto pela Taxa Metabólica (M), obtida através de tabela conforme a ISO 8996/2004 e Isolamento Térmico das Vestimentas (Icl), obtido segundo a ISO 9920/2007 (International Organization for Standardization - *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, ISO 9920, Genebra, 2007. Second edition 2007-06-01).

Aplicou-se um questionário com cinco itens. O primeiro buscou informação do local de trabalho, idade, peso e altura de cada respondente. O segundo item observou a atividade em quatro horários diferentes durante o dia de trabalho. O terceiro item constatou a sensação térmica do respondente através de uma escala de percepção de sete pontos. O quarto item, na mesma escala do item anterior, investigou a preferência térmica do respondente. Por fim, o quinto item identificou a vestimenta usada pelo respondente no momento da entrevista. A utilização de ambos os instrumentos, modelo de Fanger conforme a metodologia descrita acima e o questionário, permitiu criar uma equação cujas variáveis ambientais e pessoais identificaram os elementos de maior influência nas sensações térmicas reais declaradas pelos funcionários.

Para o cálculo dos índices de PMV e PPD foi utilizada a ferramenta da web Human Heat Balance com a alimentação dos dados das variáveis ambientais medidos com o Confortímetro Sensu conforme os padrões da ISO 7726/1996, alimentada ainda com os dados da Taxa Metabólica (M), obtida através de tabela conforme a ISO 8996/2004 e Isolamento Térmico das Vestimentas (Icl), obtido segundo a ISO 9920/2007 ((International Organization for Standardization - *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, ISO 9920, Genebra, 2007. Second edition 2007-06-01).

As Sensações e Preferências foram coletadas através do questionário conforme modelo que fará parte dos Anexos da dissertação de mestrado.

As medições seguiram rigorosamente os preceitos da ISO/DIS 7726, no que diz respeito a todas as variáveis ambientais

Para a análise dos dados foi empregado o software Estatística 6.1 com 95% de confiança.

4. Correlação entre o índice PMV e sensações reais

A relação entre PMV e Sensações apresentou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,58$. O Gráfico 1 mostra um ajuste dos valores com a reta de regressão entre a Sensação real e as 6 variáveis do modelo de Fanger apresentando um coeficiente de determinação $R^2 = 0,84$. O estudo procurou estabelecer a equação entre as sensações térmicas e as 6 variáveis do modelo obtendo a equação: $SENS = 0,005 \cdot M + 0,05 \cdot Tar + 0,17 \cdot Trm - 0,01 \cdot UR - 2,08 \cdot Var - 1,21 \cdot Icl - 2,18$.

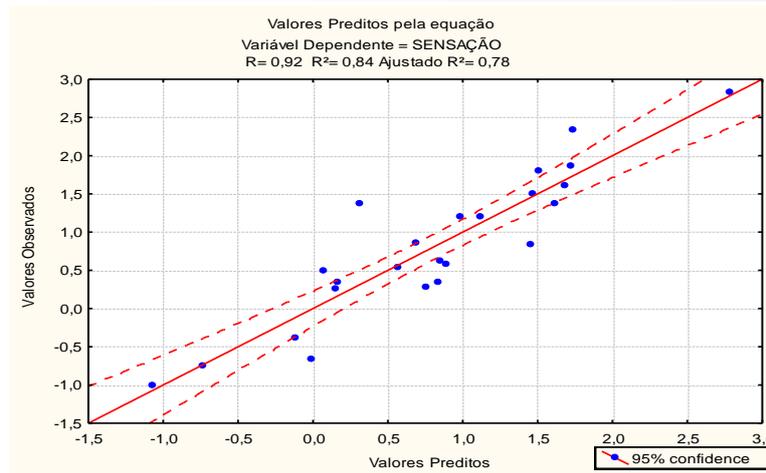


Figura 3. Sensação predita vs Sensação real dos pesquisados

Fonte: Os autores

Observou-se como resultado que as variáveis Temperatura radiante média, Temperatura do ar, e a taxa metabólica podem impactar a sensação térmica de conforto dos funcionários no local de trabalho pesquisado.

Elevadas temperaturas podem causar irritabilidade, incapacidade de concentração e acidentes industriais.

Apresentando um aquecimento interno corporal, baixa umidade relativa do ar e alta temperatura, a evaporação de suor poderá trazer ao funcionário a sensação de temperatura mais fria do que aquela medida nos termômetros. Esta sensação de frescor na pele do funcionário poderá levá-lo a intensificar suas atividades e em consequência o mesmo poderá sofrer danos físicos.

5. Conclusões

Portanto para melhor conhecer as sensações dos funcionários quanto ao ambiente térmico a seu redor, encontrou-se a equação: $SENS = 0,005 \cdot M + 0,05 \cdot Tar + 0,17 \cdot Trm - 0,01 \cdot UR - 2,08 \cdot Var - 1,21 \cdot Icl - 2,18$ e a correlação que identificou a variável que exerce a maior influência na sensação térmica foi a Temperatura radiante média, Trm do grupo das variáveis ambientais.

Este trabalho embasará os estudos de dissertação de mestrado e no conjunto de todas as medições serão feitas as discussões e sugestões.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação Araucária por apoiar estes estudos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, INC. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, ASHRAE Standard 55-1992. Atlanta, 2005

_____. *ASHRAE Fundamentals*. Atlanta, 2005 Cap.8: Thermal Comfort.

DE DEAR, R. 1970, “*Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering*”, United States, McGraw-Hill Book Company.

DE DEAR, R. Human Heat Balance. University of Australia, Sydney. Acessado em 10/02/2011 <<http://web.arch.usyd.edu.au/~rdeDear>>

FANGER, P.O., 1970, “*Thermal Comfort – Analysis and Applications in Environmental Engineering*”, United States, McGraw-Hill Book Company

FANER, P. O. *Thermal Confort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York, McGraw-Hill Book Company, 1972.

FONTANELLA M.S; SOUZA H.A. *Avaliação de índices de conforto térmico entre os universitários na cidade de Ouro Preto*. In: X ENCAC, Natal, outubro, 2009.

GIVONI, B. *Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines*. Rev. Energy and Buildings. Lausanne: v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

INNOVA, Air Tech Instruments. Thermal Comfort. Acessado em 17-10-2010
<<file:///K:/Marketing/Homepage/Gammel%20Homepage/Website/books/thermal/therm...>>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities*, ISO 7726. Genebra, 1996, 39p.

_____. *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort*, ISO 7730, Genebra, 2005.

_____. *Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate*, ISO 8996, Genebra, 2004.

_____. *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, ISO 9920, Genebra, 2007. Second edition 2007-06-01.

OLIVEIRA, S.J.F. *Conforto térmico no ambiente de trabalho: avaliação das variáveis subjetivas da percepção do calor*. Disponível em: http://www.aedb.br/seget/artigos10/201_ARTIGO%20-%20SEGET.pdf Acesso em: 24 nov. 2010

OLGYAY, V. *Design with climate*. New Jersey: Princeton University, 1963.

SZOKOLAY, S. V. *Thermal Design of Buildings*. Australia: Raia Education Division, 1987.

TANABE, S. *Thermal Comfort Requirements in Japan*. Waseda, 1984. Tese de Doutorado – Waseda University.