

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**GERÊNCIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**BRUNA ANGELA ANTONELLI**

**VERIFICAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MODELO NORMALIZADO  
DE CONFORTO TÉRMICO UTILIZANDO A TAXA METABÓLICA  
DETERMINADA PELAS SENSações TÉRMICAS REAIS DE  
USUÁRIOS DE AMBIENTES INDUSTRIAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**PONTA GROSSA**

**2012**

**BRUNA ANGELA ANTONELLI**

**VERIFICAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MODELO NORMALIZADO  
DE CONFORTO TÉRMICO UTILIZANDO A TAXA METABÓLICA  
DETERMINADA PELAS SENSações TÉRMICAS REAIS DE  
USUÁRIOS DE AMBIENTES INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção parcial do título de Mestre em Engenharia da Produção: Ergonomia nos processos produtivos do Programa de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto de Paula Xavier

**PONTA GROSSA**

**2012**

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa  
n.07/12

A634 Antonelli, Bruna Angela

Verificação da adequabilidade do modelo normalizado de conforto térmico utilizando a taxa metabólica determinada pelas sensações térmicas reais de usuários de ambientes industriais / Bruna Angela Antonelli. -- Ponta Grossa: [s.n.], 2012.

92 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto de Paula Xavier

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

1. Indústria - Conforto térmico. 2. Taxa metabólica. 3. Voto médio estimado. 4. Sensação térmica real. I. Xavier, Antônio Augusto de Paula (Orient.). II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. III. Título.

CDD 670.42



Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



### FOLHA DE APROVAÇÃO

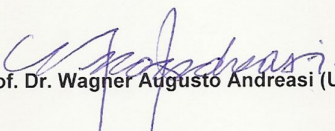
Título de Dissertação Nº 196/2012

**VERIFICAÇÃO DA ADEQUABILIDADE DO MODELO NORMALIZADO DE CONFORTO  
TÉRMICO UTILIZANDO A TAXA METABÓLICA DETERMINADA PELAS SENSações  
TÉRMICAS REAIS DE USUÁRIOS EM AMBIENTES INDUSTRIAIS**

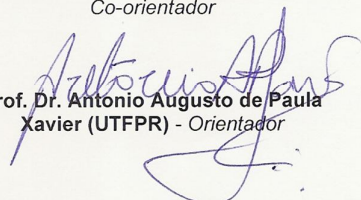
por

**Bruna Angela Antonelli**

Esta dissertação foi apresentada às **14 horas** de **29 de fevereiro de 2012** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

  
Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi (UTFPR)

  
Prof. Dr. Luiz Alberto Pilatti (UTFPR)  
Co-orientador

  
Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula  
Xavier (UTFPR) - Orientador

Visto do Coordenador:

João Luiz Kovaleski (UTFPR)  
Coordenador do PPGE

## **AGRADECIMENTOS**

Aos docentes do Programa de Mestrado em Engenharia da Produção da UTFPR campus Ponta Grossa, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Augusto de Paula Xavier, pela dedicação em ensinar e empenho em orientar desde a elaboração até a execução desta dissertação evidencio a minha eterna gratidão.

Aos meus pais Elena e Ernesto que não pouparam esforços para minha formação profissional e humana. Pelo amor incondicional que me fizeram crescer com dignidade sendo exemplo de persistência, fé e vida.

Ao meu irmão Ricardo e tio Eurides pelo incentivo, companheirismo e apoio nos momentos de dificuldade.

Ao meu esposo Tarcísio, meu eterno companheiro e maior incentivador para a realização do mestrado, a quem, sobretudo soube compreender o tempo despendido para o término deste trabalho. Pela amizade e cumplicidade que refletem todo o amor que nos une.

Aos meus amigos Carine Cristiane Machado Urbim Pasa, Danielly da Silva Aquino, Fernando Partica, Louisi Moura, Patrício Vasconcelos, Rodolfo Reinaldo Petter, Priscila Rubbo, Andriele de Prá Carvalho e Silvia Mara Bortoloto Damasceno pela amizade, afeto, companheirismo e incentivo diário demonstrado durante esses dois anos.

Enfim, a Deus por permitir que tudo isso fosse possível.

## RESUMO

ANTONELLI, Bruna Angela. **Verificação da adequabilidade do modelo normalizado de conforto térmico, utilizando a taxa metabólica determinada pelas sensações térmicas reais de usuários de ambientes industriais.** 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012.

O presente estudo teve como objetivo verificar a existência da melhoria de aderência no modelo normalizado de conforto térmico (PMV), utilizando as taxas metabólicas a partir das sensações térmicas reais de usuários em ambientes industriais. Assim, o estudo determinou a taxa metabólica através de análise de regressão múltipla e pela substituição dos valores de PMV pelas sensações térmicas reais através do software específico de conforto térmico em concordância com a norma ISO 7730 de 2005 obtendo assim a taxa metabólica calculada. Com isso foram calculados novos valores de PMV utilizando os valores das taxas metabólicas, resultando em PMV<sub>tab</sub>, PMV<sub>1</sub> e PMV<sub>2</sub>. Para verificar qual dos valores de taxa metabólica aproximou-se ao modelo PMV com sensação térmica real, foi realizada uma análise de regressão simples, obtendo-se duas equações para correção da taxa metabólica tabelada. Para verificar a validade das equações da taxa metabólica corrigida, foi procedido o cálculo do PMV em um conjunto de 30 medições. O resultado obtido para o PMV tabelado foi de  $R^2=0,25$ ; para o PMV corrigido 1,  $R^2=0,26$ ; para o PMV corrigido 2, de  $R^2=0,11$ . Isso demonstra que não houve correlação entre as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores e os valores de PMV tabelados e corrigidos. O percentual de diferença entre o  $M_{tabelado}$  e o  $M_{corrigido 1}$  e  $M_{corrigido 2}$  foi na ordem de 1,66% e -0,40% respectivamente. Considera-se que para este estudo, em um conjunto de 30 medições, levando em consideração a sensação térmica real dos trabalhadores, os valores da taxa metabólica tabelada não apresentaram boa precisão, quando comparados aos valores do PMV e à sensação térmica real. Porém, pode-se considerar que se o objetivo for promover uma correção na taxa metabólica tabelada, deve-se aplicar sobre a mesma um percentual de acréscimo de 1,66%.

**Palavras-chave:** Conforto térmico em indústria. Taxa metabólica. Voto médio estimado. Sensação térmica real.

## ABSTRACT

ANTONELLI, Angela Bruna. **Verification of the appropriateness of the normalized model of thermal comfort, using the metabolic rate determined by users' actual thermal sensation in industrial environments.** 2012. 88 pages. Dissertation (Master in Production Engineering) - Federal Technological University of Parana. Ponta Grossa, 2012.

This research aimed to verify the presence of adhesion increase in the normalized standard of thermal comfort (PMV) by using metabolic rates from users' actual thermal sensations in industrial environments. So, this research defined the metabolic rate by multiple regression analysis, and by substituting the values of PMV by actual thermal sensations through the specific software of thermal comfort according to ISO 7730, 2005, thus getting the metabolic estimated rate. With that, new PMV values were calculated by using the values of metabolic rates, resulting in PMV<sub>tab</sub>, and PMV<sub>1</sub> PMV<sub>2</sub>. To check which of the values of metabolic rate approached the PMV model with actual thermal sensation, an analysis of simple regression was performed, obtaining two equations for the correction of the metabolic rate table. To check the equation validity of the corrected metabolic rate, the calculation of PMV in a set of 30 measurements was carried on. The obtained result for the tabulated PMV was of  $R^2 = 0.25$ ; for the PMV corrected 1, of  $R^2 = 0.26$ ; for the PMV corrected 2, of  $R^2 = 0.11$ . It demonstrates that there was no correlation between the thermal sensations which had been reported by the workers and the tabulated and corrected values of PMV. The percentage difference between  $M_{\text{tabulated}}$  and  $M_{\text{corrected 1}}$  and  $M_{\text{corrected 2}}$  was of 1.66% and -0.40% respectively. It is considered that for this study, in a set of 30 measurements, taking into account the workers' actual thermal sensation, the values of the tabulated metabolic rate are not well accurate when compared to the values of PMV and to the actual thermal sensation. However, it may be considered that if the aim is to promote a small correction in the tabulated metabolic rate, one should apply on it an increasing percentage of 1.66%.

**Keywords:** Thermal comfort in industry. Metabolic rate. Predicted Mean Vote. Actual thermal sensation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Escala de sensação térmica adaptada ASHRAE (2004). .....	38
Figura 2 – Representação das duas amostras para a determinação da taxa metabólica a partir das sensações térmicas reais.....	54
Figura 3 - Confortímetro Sensus® .....	55
Figura 4 - Representação esquemática da metodologia 1 e 2.....	58
Figura 5- Escala de sensação térmica adaptada ASHRAE (2001). .....	60
Figura 6 - Sumário de regressão múltipla.....	62
Figura 7 – Representação dos valores obtidos do PMV conforme a taxa metabólica. ....	64
Figura 8 - Sumário de regressão simples com variável dependente $M_{calculado1}$ e independente $M_{tabelado}$ .....	70
Figura 9 - Sumário de regressão múltipla com variável dependente $M_{calculado2}$ e variável independente $M_{tabelado}$ .....	70



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos mecanismos físicos termorreguladores no ser humano.....	21
Quadro 2 - Variáveis ambientais, pessoais que interferem no conforto térmico.....	36
Quadro 3 - Métodos de estimativa da taxa metabólica.....	42
Quadro 4 - Classificação da taxa metabólica conforme a atividade.....	43
Quadro 5 - Classificação da taxa metabólica conforme ocupação.....	44
Quadro 6 - Classificação da taxa metabólica conforme tabela de avaliação em grupo. .....	44
Quadro 7 - Classificação da taxa metabólica em atividades específicas.....	45
Quadro 8 - Características da população para estimativa da taxa metabólica.....	46
Quadro 9 - Resumo das normas de conforto térmico.....	52

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Correlação entre a Sensação térmica real e o PMV tabelado.....	67
Gráfico 2 - Correlação entre a Sensação térmica real e o PMV1.....	68
Gráfico 3 - Correlação entre a Sensação térmica real e o PMV2.....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3 - Períodos e horários das medições .....	57
Tabela 4 - Coeficientes de correlação linear conforme metodologia 1 .....	61
Tabela 5 - Valores médios das 67 medições referente as variáveis ambientais, pessoais e subjetivos. ....	65
Tabela 6 - Coeficientes da regressão entre Sensação térmica real (S) e valores de PMV.....	69
Tabela 7 – Valores médio das 30 medições referente as variáveis ambientais, pessoais e subjetivas coletas na empresa 2.....	71
Tabela 8 - Coeficientes da regressão entre Sensação térmica real (S) e valores de PMV tabelado, PMV1 e PMV2. ....	72
Tabela 9 - Valores da taxa metabólica tabelada, corrigida 1 e 2 e o percentual de diferença da taxa metabólica corrigida 1 e 2 com a taxa metabólica tabelada.....	73

## LISTA DE SIGLAS

ASHRAE	- American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ATP	- Adenosina trifosfato
CDTE	- Consumo Diário Total de Energia
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
NR	- Norma Regulamentadora
NBR	- Norma Brasileira
PMV	- <i>Predicted Mean Vote</i>
TMR	- Taxa Metabólica de Repouso
VME	- Voto Médio Estimado

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_{Du}$	- Área da superfície corporal de DuBois [m <sup>2</sup> ]
$C$	- perda de calor sensível por convecção pela pele (W/m <sup>2</sup> )
$C_{res}$	- perda de calor sensível por convecção pela respiração (W/m <sup>2</sup> )
$E_{dsk}$	- perda de calor latente por difusão de suor pela pele (W/m <sup>2</sup> )
$E_{esk}$	- perda de calor latente por evaporação do suor pela pele (W/m <sup>2</sup> )
$E_{res}$	- perda de calor latente por evaporação através da respiração (W/m <sup>2</sup> )
$f_{cl}$	- Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu
$h_c$	- Coeficiente de transferência de calor por convecção, em W/m <sup>2</sup> .°C
$I_{cl}$	- Resistência térmica das roupas, em m <sup>2</sup> .°C/W
Kj/Kcal	- Unidade de energia e trabalho no Sistema Internacional (SI)
kPa	- Quilo pascal
L	- Carga térmica atuante sobre o corpo, (W/m <sup>2</sup> )
l	- Altura do corpo (m)
M	- Taxa metabólica, (W/m <sup>2</sup> )

m - Massa do corpo (kg)

MET - Equivalente metabólico, (1 MET = 58,2 W/m<sup>2</sup>)

Mmgh - Milímetros de mercúrio

M<sub>pred</sub> - Taxa metabólica predita, (W/m<sup>2</sup>)

M<sub>tab</sub> - Taxa metabólica tabelada, (W/m<sup>2</sup>)

°C - Graus Celsius

PA - Pressão de Vapor Atual

pa - Pressão parcial do vapor de água (kPa)

PAS - Pressão de Vapor Saturante

Q<sub>res</sub> - Perda total de calor através da respiração (W/m<sup>2</sup>)

Q<sub>sk</sub> - Perda total de calor através da pele (W/m<sup>2</sup>)

R - Perda sensível de calor por radiação pela pele (W/m<sup>2</sup>)

R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação múltiplo

S - Sensação térmica real

t<sub>a</sub> - Temperatura do ar, em °C

TBS - Temperatura de Bulbo Seco

t<sub>cl</sub> - Temperatura da superfície externa da roupa, em °C

t<sub>cl</sub> - Temperatura superficial das roupas, em Clo

t<sub>r</sub> - Temperatura radiante média, em °C

t<sub>skm</sub> - Temperatura média da pele, em °C

v<sub>ar</sub> - Velocidade relativa do ar, em m/s

VO<sub>2</sub> - Volume de oxigênio

W - Trabalho mecânico, em W/m<sup>2</sup>

W - Eficiência mecânica (W/m<sup>2</sup>)

Wa - Razão de umidade (umidade absoluta)

X - Variável dependente

Y - Variável independente

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
1.2 OBJETIVO GERAL .....	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 TERMORREGULAÇÃO HUMANA.....	18
2.2 METABOLISMO HUMANO.....	21
2.3 FATORES QUE AFETAM O METABOLISMO CORPORAL.....	24
2.4 CONFORTO TÉRMICO .....	26
2.5 ESTUDOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO HUMANO.....	29
2.6 MODELO DE BALANÇO TÉRMICO ENTRE O HOMEM E O AMBIENTE ....	31
2.7 VARIÁVEIS AMBIENTAIS E PESSOAIS NA DETERMINAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO .....	36
2.8 MODELO FANGER DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO .....	38
2.9 DETERMINAÇÃO DA TAXA METABÓLICA.....	40
2.10 ESTUDOS SOBRE A DETERMINAÇÃO DA TAXA METABÓLICA.....	49
2.11 NORMAS REFERENTES AO CONFORTO TÉRMICO .....	51
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>53</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	53
3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA.....	53
3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO .....	54
3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS .....	55
3.5 OPERACIONALIZAÇÃO.....	56
3.5.1 Determinação dos valores das taxas metabólicas 1 e 2 conforme os dois métodos aplicados .....	56
3.5.2 Determinação das equações de correção das taxas metabólica.....	58
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE A - Questionário de percepção e preferência térmica aplicada aos trabalhadores conforme a ISO 10551(1995).....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE B - Descrição das atividades e classificação da taxa metabólica através da ISO8996(2004) do conjunto de 30 medições.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As pesquisas recentes em conforto térmico visam analisar e estabelecer condições para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às ocupações humanas. O presente estudo utiliza os preceitos da Norma Internacional ISO 7730 (2005), que é baseada nas pesquisas de Fanger (1970) realizadas na Dinamarca. O autor enunciou sua teoria referente à determinação da sensação de conforto térmico, conhecida como Modelo do PMV, *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), com uma abordagem analítica sustentada pela teoria das trocas térmicas e balanço do calor entre o corpo humano e o ambiente.

A utilização do modelo PMV segundo Alfano, Palella & Riccio (2011), implica no conhecimento das variáveis ambientais e pessoais que influenciam de maneira importante a sensação de conforto térmico. As variáveis ambientais incluem a temperatura do ar ( $t_a$ ), velocidade do ar ( $v_{ar}$ ), temperatura radiante média ( $t_m$ ) e a umidade relativa do ar (UR), obtidas através de equipamentos específicos de acordo com as determinações da ISO 7726 (1998) e a norma ISO 7730 (2005). Porém, surgem dúvidas sobre a estimação das variáveis pessoais, conhecidas como a taxa metabólica (M) e o isolamento térmico das vestimentas ( $I_{cl}$ ) contidas em tabelas da ISO 8996 (2004) e ISO 9920 (2007) respectivamente. As variáveis pessoais principalmente a taxa metabólica, fazem com que a confiabilidade do índice PMV seja conflitante, pois os valores são obtidos através de tabelas existentes nas Normas Internacionais como a ISO 7730 (2005), ISO 8996 (2004), e nos manuais e guias da ASHRAE Fundamentals (2004).

Segundo Xavier (2000), diversas pesquisas têm mostrado que os resultados apresentados pelo modelo do PMV diferem significativamente dos encontrados em pesquisas de campo, quando se analisam diretamente as sensações térmicas relatadas pelas pessoas. Entre essas pesquisas podem-se citar as de Humphreys (1996), Araújo (1996), Dear (1998), Xavier (1999), Havenith, Holmeâr & Ken (2002) Seppanen et al (2006) entre outros.

A utilização de tabelas para encontrar o valor da taxa metabólica, segundo Katavoutas, Flocas & Theoharatos (2009), envolve a observação do pesquisador a fazer julgamentos subjetivos sobre a percepção da natureza do trabalho e do esforço. Além disso, as tabelas não levam em consideração a maneira pela qual a atividade está sendo desempenhada e adaptação da pessoa à atividade, o que pode

levar a imprecisões de mais de 50% na estimativa da taxa metabólica, e 25% para o caso do isolamento térmico das roupas conforme a própria ASHRAE Fundamentals (2004).

Nos estudos de Vergara & Lamberts (2001) sobre as influências da taxa metabólica no conforto térmico de um hospital, foram encontradas discrepâncias entre as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores e as calculadas pela equação de PMV, o que poderia ser justificada devido a imprecisão dos valores tabelados das taxas metabólicas e do isolamento térmico das vestimentas.

Conforme pesquisa de Vergara & Lamberts (2001), em um ambiente onde as atividades eram desempenhadas por uma equipe de trabalhadores de diferentes especialidades e características individuais, os valores das taxas metabólicas apresentaram-se bem diferenciados, o que segundo o autor influenciou consideravelmente, nos resultados da análise comparativa entre os valores do PMV e as sensações térmicas reais.

Estudos realizados por Howell & Stramler, (1981), Humphreys e Nicol (1996), De Dear (1998), Xavier (2000), Vergara (2001), Havenith, Holmeâr & Ken (2002), e Katavoutas, Flocas & Theoharatos (2009), a estimação de uma taxa metabólica média constante para indivíduos desempenhando a mesma atividade, não deve ser utilizada de forma generalizada, devido às diferenças individuais e às possíveis influências psicológicas ou sociológicas no ambiente de trabalho, que podem afetar suas respostas para o ambiente térmico.

Um dos motivos relevantes da imprecisão na determinação da taxa metabólica utilizados em pesquisas de conforto térmico segundo Havenith, Holmeâr & Ken (2002), é causado pelas descrições limitadas e não detalhadas das tarefas ou atividades contidas na ISO 8996 (2004). Para demonstrar a sensibilidade do modelo PMV, os mesmos autores, apontam estudos que a variável taxa metabólica apresenta erros de 15%, o que leva imprecisões de até 0,3 ou mais no índice PVM. Sendo assim, para a análise das condições de conforto térmico utilizando o modelo normalizado do PMV, devem ser ponderadas as imprecisões relacionadas às variáveis pessoais, sobretudo as taxas metabólicas estimadas segundo as tabelas da ISO8996 (2004).

Considerando a imprecisão do modelo PVM com a estimativa das taxas metabólicas, o presente estudo tem como objetivo a verificar existência da melhoria de aderência no modelo normalizado de conforto térmico, utilizando a taxa



metabólica determinado através dos votos de sensações térmicas reais de usuários de ambientes industriais.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A que ponto pode a aplicação da taxa metabólica determinada através dos votos de sensações térmicas reais de trabalhadores, constituir um incremento de significância e aderência do modelo do PMV às situações reais verificadas em ambientes industriais?

### 1.2 OBJETIVO GERAL

Verificar existência da melhoria de aderência no modelo normalizado de conforto térmico, utilizando a taxa metabólica determinada através dos votos de sensações térmicas reais de usuários de ambientes industriais.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar equações de correções para as taxas metabólicas a partir dos votos de sensações térmicas reais de trabalhadores do setor metalúrgico;

Calcular a taxa metabólica a partir da equação de correção em um novo banco de dados;

Estimar a sensação de conforto térmico através do modelo PMV utilizando os valores das taxas metabólicas corrigidas;

Avaliação da adequabilidade do modelo de conforto térmico proposto por Fanger, através da taxa metabólica calculada a partir dos votos de sensações térmicas reais dos trabalhadores.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

O conforto térmico do ser humano é marcado pelas pesquisas de Fanger em 1970 na qual norteia as versões das Normas Internacionais ISO 7730 (2005) intitulada, “Ambientes térmicos moderados: determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para o conforto térmico”. Esta norma propõe métodos para determinação da sensação térmica e do grau de desconforto das pessoas em ambientes térmicos moderados, com base no modelo de balanço térmico entre o homem e o ambiente proposto por Fanger (1970).

As equações e métodos contidas na ISO 7730 (2005) são utilizados como principal referência para elaboração de pesquisas que analisam as sensações térmicas relatadas pelas pessoas em ambiente real, entre elas, Humphreys (1976), Araújo (1996), Dear (1998), Xavier (1999), Havenith, Holmeâr & Ken (2002) Seppanen et al (2006). Porém, os resultados dessas pesquisas diferem significativamente dos encontrados em pesquisas de campo, quando aplicadas às equações do modelo do PMV e comparadas com as sensações térmicas reais de pessoas.

Essa disparidade dos valores do índice PMV em relação às sensações térmicas reais é apontada por alguns autores devido à estimativa da taxa metabólica (Howell & Stramler, 1981), (Humphreys & Nicol, 1996), (De Dear, 1998), (Xavier, 2000), (Vergara, 2001), (Havenith, Holmeâr & Ken, 2002), e (Katavoutas, Flocas & Theoharatos, 2009).

Essa estimativa normalmente é feita através de tabelas existentes nas Normas Internacionais ISO 8996 (2004) e ISO7730 (2004). Essas tabelas não levam em consideração a maneira pela qual a atividade está sendo desempenhada, adaptação da pessoa ao trabalho podendo chegar a um erro de até 50% na estimativa da taxa metabólica, conforme a própria ASHRAE.

Diante desse contexto, o estudo é justificado devido às imprecisões da estimativa da taxa metabólica tabelada, na qual é apontada como um dos fatores de falha do modelo do PMV. Dessa forma, com determinação de novas taxas metabólicas calculadas a partir das sensações térmicas dos trabalhadores, podem-se diminuir as imprecisões relacionadas às sensações térmicas de conforto, obtidas a partir da aplicação do Modelo de Fanger (1970).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização dos tópicos abordados nesta dissertação é descrita a seguir.

No Capítulo I é contextualizado o tema sobre conforto térmico e os estudos referentes ao Modelo do PMV descrito por Fanger em 1970 e a sua relação com a taxa metabólica. Faz parte deste capítulo o problema de pesquisa, objetivo principal e específico bem como a justifica do trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura, tendo seu início na termorregulação humana e os mecanismos envolvidos no controle da temperatura corporal. Em seguida é conceituado o metabolismo, como ele ocorre no organismo humano e os fatores que o afetam. O capítulo prossegue com o conceito de conforto térmico e os trabalhos publicados sobre o tema. São abordados os aspectos teóricos do modelo de balanço térmico entre o homem e o ambiente, o Modelo do Voto Médio Estimado (PMV) e as variáveis ambientais e pessoais envolvidas na determinação do conforto térmico. Por fim, é descrito sobre a determinação da taxa metabólica através das tabelas da Norma ISO 8996 (2004) e os estudos já publicados.

A metodologia aplicada no presente trabalho é apresentada no Capítulo 3, através da caracterização da pesquisa, dados da amostra, critérios e inclusão e exclusão, instrumento de coleta de dados e operacionalização.

No capítulo 4 encontra-se a os resultados da pesquisa referentes à análise e à discussão dos dados.

No capítulo 5 são feitas as considerações finais referentes ao objetivo geral e aos objetivos específicos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 TERMORREGULAÇÃO HUMANA

A temperatura corporal do ser humano é um dos parâmetros fisiológicos rigorosamente controlados por mecanismos nervosos que atuam através de centros termorreguladores localizados no hipotálamo. Esse sistema trabalha para assegurar que a temperatura no interior do organismo se mantenha em aproximadamente 37°C, independente do rigor climático do ambiente ou da produção de calor metabólico (DOUGLAS, 2002).

Para facilitar a compreensão da distribuição de calor no interior do corpo humano, pode-se dividi-lo em dois grandes compartimentos térmicos: central e o periférico. O compartimento central é formado pelos tecidos internos e é responsável pela produção de toda a energia convertida em calor no interior do organismo. O compartimento periférico é formado pelos tecidos cuja temperatura não é homogênea e sofre variações conforme o ambiente em que se encontra, geralmente 3 a 4 °C abaixo da temperatura central, podendo se tornar maior ou menor durante condições térmicas extremas ou em condições patológicas. Este sistema é constituído pelos membros superiores e inferiores, pele e tecido celular subcutâneo (BIAZZOTTO & BRUDNIEWSKI, 2006).

Todavia, para que esse sistema possa atuar é necessária a existência de receptores de temperatura ou células nervosas especializadas capazes de responder a estímulos específicos. Essas células são denominadas termorreceptoras, pois, recebem, transformam e transmitem para o sistema nervoso um grande número de informações existentes no ambiente, na superfície da pele e no interior do nosso organismo.

O sistema de termorregulação é dividido em centros anatômicos que integram os impulsos térmicos provenientes da superfície cutânea e dos tecidos profundos do corpo. O processo ocorre em três fases: sensação térmica aferente, regulação central (hipotálamo) e resposta eferente. O corpo humano através dos receptores transmite impulsos nervosos aferentes de calor ou frio ao hipotálamo, em seguida, os efetores térmicos retransmitem as ordens do hipotálamo para aquecer ou esfriar a temperatura corporal. Quando o impulso térmico se encontra acima ou abaixo do

limiar de temperatura, ocorrem respostas termorreguladoras autônomas que mantêm a temperatura corporal em valor adequado (NAGASHIMA, 2006).

Os mecanismos mencionados acima são ativados automaticamente e se classificam dentro de duas condições específicas, de frio ou de calor. O primeiro mecanismo fisiológico para controlar a perda de calor para o meio, segundo Biazotto & Brudniewski (2006), é a regulação do fluxo de sangue na pele, sistema de controle de regulação vasomotor. Este sistema faz com que aconteça a redução ou o aumento do fluxo de sangue na pele, através da vasoconstrição e da vasodilatação, respectivamente.

Em condições ambientais desfavoráveis ao equilíbrio térmico, o corpo humano responde através de três principais mecanismos fisiológicos: o transporte de calor pela corrente sanguínea, a sudorese e a produção de calor pelo tremor dos músculos (GRANDJEAN, 1998).

Conforme o mesmo autor, o transporte de calor pelo sangue ocorre através de vasos condutores, em especial os capilares, que recebem o calor e o liberam nos tecidos com temperaturas mais baixas ou, se o exterior é aquecido, conduzem o calor da pele para o interior do corpo. A regulação da irrigação da epiderme é o mais importante mecanismo de controle, estabelecendo as trocas de calor entre o homem e o meio ambiente. Já a produção de suor, provocada por impulsos nervosos, é um mecanismo de defesa e um poderoso meio para resfriar a pele e aumentar a perda de calor do corpo. A elevação de produção de calor, só é desencadeada quando o resfriamento do corpo é obtido pelo aumento dos processos de queima dos músculos e outros órgãos. Os tremores de frio são manifestações visíveis do aumento de produção de calor pela elevação do metabolismo na musculatura.

Segundo Guedes & Guedes (2006), a temperatura corporal aumenta durante o exercício físico e varia com extremos da temperatura do meio ambiente, visto que os mecanismos termorreguladores não são perfeitos. Quando a produção de calor no organismo é maior do que a da sua perda, obviamente o calor aumenta no organismo, e verifica-se elevação da temperatura corporal. Por outro lado, quando a perda de calor é maior, tanto o calor quanto as temperaturas corporais diminuem. Quando o corpo humano produz calor excessivo, durante uma atividade intensa, a temperatura pode aumentar para 38,3°C a 40°C. Por outro lado, quando o corpo fica exposto ao frio, a temperatura pode cair para valores inferiores a 36,6°C. Em geral, o

frio começa a representar um problema ocupacional a partir de 15°C, agravando-se à medida que a temperatura do ar se torna mais baixa. O homem tem a tendência de aclimatizar-se aos poucos a novas situações, aprendendo a controlar períodos de trabalho e descanso para diminuir o desconforto (COUTINHO, 2005; SILVA, 2001). Nesses casos, de acordo com Foss & Keteyian (2000), o corpo humano dificilmente mantém um ambiente interno estável quando realiza um trabalho físico intenso ou prolongado em ambientes quentes ou frios. Essa realidade leva a alterações importantes no ambiente interno, não sendo facilmente possível superar tais modificações, com consequentes distúrbios severos no ambiente interno que acarreta fadiga e, em determinada instância, interrupção da atividade. Para Coutinho (2005), a variação da temperatura interna não pode ultrapassar 4°C, sem que haja riscos de comprometimento da capacidade física e mental.

Os mecanismos envolvidos no controle da temperatura corporal nos seres humanos dependem de um balanço entre a taxa de produção de calor (termogênese) e a taxa de perda de calor (termólise) para o ambiente (PREK,2005). A termogênese, em sua maior parte, origina-se do metabolismo alimentar, através dos glicídios, lipídios e proteínas que são utilizados pelas células para sintetizar grandes quantidades de energia para as funções celulares (MONTEIRO, 2008; COUTINHO, 2005).

Já a termólise, é um conjunto de mecanismos termorreguladores que assegura a perda do calor no corpo. (PREK, 2005; TONELLI & TOLDO, 1994), Os mecanismos termolíticos são de natureza distinta dos termogênicos, pois são essencialmente físicos. São eles: radiação, condução, convecção e evaporação. De acordo com Xavier (2000), seis variáveis caracterizam os mecanismos de troca de calor entre o homem e o ambiente e interagem entre si, resultando no modelo físico de balanço de calor que inclui:

- Taxa de produção de calor pelo organismo (taxa metabólica);
- Taxa de perda de calor por convecção pela respiração;
- Taxa de perda de calor por evaporação pela respiração;
- Taxa de perda de calor por convecção pela pele;
- Taxa de perda de calor por radiação pela pele;
- Taxa de perda de calor por evaporação e dissipação do suor pela pele.

Os mecanismos envolvidos na troca de calor entre o homem e o ambiente estão resumidos no Quadro 1.

<b>Radiação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O calor é transferido para o corpo através de ondas eletromagnéticas, como radiações infravermelhas;</li> <li>- Ocorrem em corpos sólidos que não estão em contato, porém, possuem um fator de forma de um com relação ao outro;</li> <li>- Todos os objetos que não estão na temperatura do zero absoluto irradiam raios para o corpo humano;</li> <li>- As trocas de calor por radiação ocorrem entre o corpo humano e as superfícies orientadas para ele, e dependem da temperatura corporal, da temperatura das superfícies circundantes e do fator de visão entre a pessoa e estas superfícies.</li> </ul>
<b>Condução</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É a transferência sem movimento entre dois corpos sólidos em contato com temperaturas diferentes;</li> <li>- Depende da diferença de temperatura entre o corpo humano e do objeto com o qual esteja em contato, da capacidade de condução do calor dos objetos que entram em contato com a pele e do tipo de material;</li> <li>- A condução tem influência durante a passagem do fluxo de calor através da vestimenta.</li> </ul>
<b>Convecção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transferência entre dois corpos em contato (sólidos ou fluidos) em movimento, com temperatura diferente, onde pelo menos um é fluido;</li> <li>- Ocorre por troca de posição das partículas em um meio de fluido líquido ou gasoso;</li> <li>- As trocas de calor por convecção se dão pela diferença de temperatura, através da transmissão de calor entre a pele e o ar ambiente;</li> <li>- As perdas de calor por convecção aumentam à medida que aumenta a movimentação do ar, ou, ocorre quando a temperatura do ar é mais baixa, ou a temperatura da pele é mais elevada.</li> <li>- O corpo humano quando exposto ao vento, a camada de ar imediatamente adjacente à da pele é substituída por novo ar com velocidade muito maior do que o normal, de modo que a perda de calor por convecção aumenta proporcionalmente.</li> </ul>
<b>Evaporação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocorre perda de calor através de moléculas da passagem do meio líquido para gasoso;</li> <li>- As perdas por evaporação de água na pele são devidas ao mecanismo permanente de difusão de vapor e às situações de transpiração, resultante da necessidade do corpo em manter uma temperatura constante.</li> <li>- Depende essencialmente do conteúdo de umidade do ar ou da pressão parcial de vapor d'água no ar. Quanto mais seco o ar, mais rápida é a evaporação;</li> <li>- A intensidade da perda de calor por evaporação de água depende da grandeza da superfície corporal, na qual o suor evapora, e da diferença de pressão de vapor da água sobre a camada de interface entre a água sobre a pele e o restante do ar ambiente (GRANDJEAN, 1998).</li> </ul>

**Quadro 1 - Resumo dos mecanismos físicos termorreguladores no ser humano.  
Fonte: Adaptado de Tonelli & Toldo (1994); Gomes (2007); Monteiro (2008)**

## 2.2 METABOLISMO HUMANO

O metabolismo do organismo refere-se a todas as reações químicas de todas as células do corpo, tendo o calor como principal produto final de quase toda a energia liberada no organismo. Para melhor entendimento, todo ser humano, para manter suas funções vitais, necessita de um gasto energético mínimo. Essa energia

está relacionada às vias metabólicas que são capazes de converter nutrientes alimentares, como gorduras, proteínas e carboidratos, em forma de energia biologicamente utilizável (BERNE & LEVY, 2000).

Esta fonte de energia denomina-se adenosina trifosfato (ATP), definida como uma molécula doadora universal, com a função de acoplar a energia liberada pelos nutrientes em forma de energia utilizada por todas as células do organismo. Com este efeito, as células têm a capacidade de transferir a energia dos alimentos para a maioria dos sistemas funcionais, como nos processos de síntese de crescimento, contração muscular, secreção glandular, condução dos impulsos nervosos, absorção ativa e outras atividades celulares (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2003).

Estima-se que 35% da energia que provem dos alimentos é transformada em calor durante a formação do ATP e apenas 27% de toda energia são utilizados é utilizada pelos sistemas funcionais das células. Tal fato é justificado devido à grande quantidade de ligações químicas necessárias à síntese, degradação e renovação de proteínas necessárias para o funcionamento e crescimento do organismo. Quando ocorre degradação das proteínas, a energia armazenada nas ligações químicas é liberada no organismo sob forma de calor (POWERS & HOWLEY, 2006).

Um exemplo pode ser a miosina, uma das importantes proteínas contráteis da fibra muscular, que atua como enzima para determinar a degradação do ATP em difosfato de adenosina (ADP), com a conseqüente liberação de calor. Uma pequena quantidade de energia é degradada nos músculos quando não ocorre contração muscular; essa intensidade de ATP, todavia, pode elevar-se até 150 vezes em relação aos níveis de repouso durante pequenos períodos de contração máxima. Assim, grande parte dessa energia simplesmente supera a viscosidade dos próprios músculos ou dos tecidos, de modo que o movimento viscoso provoca atrito no interior dos tecidos gerando calor (GAYTON & HALL, 2002). Outro exemplo de energia é o bombeamento do coração que, de acordo com Douglas (2002) e Porto (2001), ocorre através do sistema arterial e vasos periféricos, que por atrito entre o sangue contra as paredes dos vasos e das diferentes camadas de sangue sobre as outras representa um reservatório de energia potencial.

Dessa forma, a produção de calor constitui um dos principais subprodutos do metabolismo e permeia os fatores que determinam o consumo de energia diária, como: taxa de metabolismo basal, taxa metabólica de repouso, efeito termogênico



do alimento consumido e energia despendida durante a atividade física e laboral (MONTEIRO, 2008).

Mesmo em estado de repouso absoluto, o organismo humano consome energia para o seu funcionamento e manutenção dos sistemas associados às funções orgânicas. Essa energia está relacionada ao metabolismo basal, a qual representa entre 50 a 70% do dispêndio energético diário ou habitual. Contudo, essa proporção depende do nível de atividade física que o indivíduo realiza, ou, neste caso, o tipo de trabalho e em que ambiente que o mesmo é executado (Suen, Silva & Marchini, 1998).

A atividade física é definida como qualquer movimento corporal produzido pelos músculos esqueléticos, que resultará em um dispêndio energético acima dos níveis de repouso. Dessa forma, os mesmos autores, descrevem que o dispêndio energético está associado às atividades físicas do cotidiano é dividida basicamente em cinco categorias, sendo, primeiramente, o dispêndio energético dedicado aos cuidados pessoais, atividades de ocupação profissional, tarefas domésticas, atividades de lazer e atividades esportivas. Todas essas atividades deverão oferecer informações sobre o nível de prática de atividade física habitual (GUEDES & GUEDES, 2006).

A quantidade de calorias envolvidas com o metabolismo basal é diretamente proporcional ao peso corporal, ou seja, a quantidade de massa muscular envolvida na atividade de trabalho, a intensidade, duração e frequência das contrações musculares interferem decisivamente na fração do dispêndio energético envolvido no metabolismo voluntário (POWERS & HOWLEY, 2006).

Existem dois fatores determinantes para o metabolismo basal, o sexo e a idade. Em relação ao sexo, as mulheres apresentam dispêndio energético em torno de 5 a 10% menor que os homens. Em relação à idade, porém, ambos os sexos, com o passar dos anos, possuem uma redução de 2 a 5% de células metabolicamente ativas. Grande parte do declínio do metabolismo basal com o aumento da idade está relacionada à perda da massa muscular substituída pelo tecido adiposo tem menor valor metabólico. Isso sugere que para prevenir o gradual aumento de peso causado pelo processo de envelhecimento, deve-se reduzir o consumo calórico, ou aumentar o dispêndio energético associado ao metabolismo voluntário (GUEDES & GUEDES, 2006).

A Taxa Metabólica de Repouso (TMR), segundo McArdle, Katch, Katch (2003), refere à soma dos processos metabólicos da massa das células ativas necessárias para manter o equilíbrio regulador normal e as funções corporais em repouso. A TMR pode ser medida 3 a 4 horas após uma refeição leve sem qualquer atividade física prévia. Para uma pessoa comum, a TMR corresponde a aproximadamente 60 a 75% do Consumo Diário Total de Energia (CDTE), enquanto os efeitos térmicos da alimentação são responsáveis por cerca de 10% e atividade física pelos 15 a 30% restantes.

### 2.3 FATORES QUE AFETAM O METABOLISMO CORPORAL

Conforme Guyton & Hall (2002), existem vários fatores que aumentam a atividade química das células e intensificam o metabolismo. Entre eles, o exercício físico constitui um fator que aumenta mais radicalmente a intensidade metabólica. Curtos períodos de contração muscular máxima em um único músculo podem liberar, em poucos segundos, até 100 vezes a quantidade de calor liberada no estado de repouso. Em indivíduos sedentários há consumo significativo de energia com a atividade física espontânea necessária para manter o tônus muscular e a postura corporal. As atividades não relacionadas ao exercício físico são responsáveis por cerca de 7% do consumo energético diário de um indivíduo (Galloway & Maughan, 1997).

Além disso, Foss & Keteyian (2000) descrevem que em atividade de trabalho pesada, os músculos solicitados produzem grandes quantidades de calor que devem ser removidas para evitar o superaquecimento. O sistema renal tem dificuldade em descartar os resíduos metabólicos devido ao aumento e às alterações na composição dos líquidos corporais, devido ao acúmulo de ácido láctico.

Nessa situação, segundo Garret & Kirkendall (2003) e Powers & Howley (2006), o nível de estresse ocasionado pelo trabalho pesado aumenta a intensidade das repostas de sudorese e de circulação que visam à dissipação do calor, em que o indivíduo perde uma grande quantidade de líquidos do corpo. Afirmo Clark (1998) que durante o exercício intenso os músculos podem gerar 20 vezes mais calor do que quando o indivíduo está em repouso. Entre 75% e 80% da energia produzida

pelo organismo é convertida em calor, e apenas 20 a 25% é utilizada pelos músculos para produzir energia mecânica para realizar o trabalho.

Outro fator que afeta o metabolismo é o efeito termogênico do alimento. Após uma refeição rica em carboidratos, o metabolismo pode aumentar cerca de 4%, como consequência das diferentes reações químicas associadas aos processos de digestão, absorção e armazenamento de alimento no organismo. Tal efeito denomina-se efeito termogênico dos alimentos, pois esse processo necessita de energia e gera calor. Entretanto, depois de uma refeição rica em proteínas, o metabolismo aumenta, dentro de 1 hora, atingindo o máximo de 30% acima do normal com duração de 3 a 12 horas (BERNE & LEVY, 2000; GUYTON & HALL, 2002).

Por outro lado, segundo Lida (2005), um trabalhador poderá apresentar redução de peso e queda no seu rendimento, se a quantidade de energia gasta não for suprida pela alimentação. Nesses casos, a queda de rendimento ocorrerá em uma proporção maior que a taxa de redução de alimentação, principalmente em trabalhadores que exercem atividade mais leves. Conforme Powers & Howley (2006), em condições patológicas, como na desnutrição prolongada, o rendimento no trabalho pode diminuir o metabolismo até 30%. Nos estágios finais de muitas condições patológicas, a inanição que acompanha a doença provoca acentuada redução pré-morte do metabolismo, a ponto de a temperatura corporal diminuir alguns graus pouco antes da morte. Outro exemplo de condições que podem aumentar o metabolismo corporal incluem a febre que, independente de sua causa, aumenta as reações químicas no organismo em média 120% a cada elevação de 10°C na temperatura (McARDLE, KATCH, & KATCH, 2003).

Os estudos do metabolismo em pessoas que vivem em diferentes regiões geográficas têm revelado intensidades metabólicas até 20% menores nas regiões tropicais do que nas árticas. Essa diferença é causada, em parte, pela adaptação da glândula tireóide, cuja secreção aumenta nos climas frios e diminui nos climas quentes. Com efeito, muito mais pessoas desenvolvem hipertireoidismo em regiões frias do que em regiões tropicais (POWERS & HOWLEY, 2006).

## 2.4 CONFORTO TÉRMICO

Os estudos de conforto térmico visam, de maneira geral, analisar e estabelecer condições necessárias para avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupações humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente (LAMBERTS & XAVIER, 2011).

As primeiras iniciativas de pesquisas referentes ao conforto térmico foram realizadas pelo Conselho de Pesquisa de Fadiga Industrial no Reino Unido, em 1920 (BEDALE, 1924). Segundo Gomes (2007), a partir da 2ª guerra mundial diversos pesquisadores deram continuidade a esses estudos, Fanger (1970), Givoni & Goldman (1972 e 1973), Stolwijk & Hardy (1977) entre outros.

Na obra escrita por Walter Bernan, publicada em 1845, *History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings*, o autor já previa que a criação e o controle de ambientes aclimatizados artificialmente assumiriam a dimensão de uma ciência que contribuiria para o desenvolvimento da humanidade, preservação da saúde e longevidade do ser humano (RUAS, 1999).

O estudo do conforto térmico e das avaliações das sensações térmicas humanas é representado pelo pesquisador P. O. Fanger. As equações e métodos desenvolvidos por ele são utilizados como principal referência mundial para elaboração de pesquisas e normas internacionais, como a ASHRAE 55 (2004) e a ISO 7730 (2005).

Para um melhor entendimento sobre a temática, é necessário definir claramente o conceito de conforto térmico, uma vez que há, no seu entendimento, três abordagens: a psicológica, a termofisiológica e a baseada no balanço térmico do corpo humano (ANDREASI, 2009). Segundo Fanger (1970), conforto térmico como é definido como “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

Essa definição leva a compreender como “condição da mente” um elemento individual da pessoa ou a manifestação individual de bem-estar em determinado ambiente térmico. Dessa forma, conforme HochBerg (1966) apud Andreasi (2009) considera-se que nessa percepção individual existe um componente psicológico,

fruto da forma como o homem observa o mundo através de múltiplos sentidos ou modalidades de sensação.

Assim, a definição de conforto térmico é de grande subjetividade, uma vez que a satisfação das pessoas com um ambiente depende de fatores relacionados aos aspectos físicos, orgânicos e psicológicos.

Os fatores físicos de transferências de calor do corpo humano para o ambiente apresentam-se através de mecanismos de condução, convecção, radiação e evaporação. Entre os fatores orgânicos, pode-se citar a aclimatação, ou seja, as alterações fisiológicas que ocorrem no organismo quando exposto a um ambiente com determinada temperatura. Nesses casos, um conjunto de processos, como a vasoconstrição, arrepio, vasodilatação e a exsudação, ocorrem no corpo humano para a manutenção da homeotermia. Já os fatores psicológicos estão relacionados às sensações relatadas pelas pessoas, que seria uma condição da mente. Essas diferenças que ocorrem na resposta do ser humano a estímulos sensoriais podem ser advindas de uma experiência passada ou expectativa do indivíduo (PACHECO, 2007).

Diante da subjetividade na definição clássica de conforto térmico, adotou-se a definição de neutralidade térmica, referenciando a condição mais física a qual, segundo Tanabe (1988), pode ser definida como: “a situação onde uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente ao seu redor”.

Assim, o termo neutralidade térmica pode ser entendido como estado físico, no qual todo calor gerado pelo organismo, através do metabolismo é trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, não havendo nem acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante (LAMBERTS & XAVIER, 2011).

Contudo, por mais que a quantidade de calor recebida pelo organismo seja igual à quantidade de calor cedida para o ambiente, ainda não é suficiente para garantir o conforto térmico. O sistema termorregulador do organismo é capaz de realizar numerosas combinações entre as variáveis ambientais e individuais, contudo apenas uma estreita faixa dessas variáveis é considerada confortável (IIDA, 2005)

Neste sentido, a ISO 7730 (2005) afirma que, decorrente dos aspectos pessoais e ambientais que envolvem a análise do conforto térmico, é impossível que

um grupo de pessoas sujeitas a um mesmo ambiente, ao mesmo tempo, estejam todos satisfeitos com as condições térmicas. Assim sendo, diz-se que um ambiente é aceitável termicamente, quando o mesmo apresenta combinações das variáveis físicas que o tornam desconfortável para o menor número de pessoas possível.

Considera-se que o conforto térmico divide-se em três áreas: ambientes térmicos quentes, moderados e frios, cuja distinção relaciona-se à sobrecarga e estresse térmico. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1987), o estresse térmico corresponde à quantidade de calor que tem de ser dissipada ou produzida para manter o corpo humano em equilíbrio térmico, enquanto que a sobrecarga térmica identifica-se às alterações fisiológicas ou patológicas resultantes do estresse térmico.

As pesquisas referentes ao conforto térmico podem ser divididas em dois grupos: câmaras climatizadas e em campo. Os estudos em câmaras climatizadas são realizados no interior de ambientes totalmente controlados pelo pesquisador. Neste caso, as variáveis ambientais, como a temperatura, a velocidade do ar, a temperatura das superfícies e a umidade, são ajustadas. Procede-se, depois, o registro das sensações térmicas vivenciadas pelos indivíduos no interior da câmara, com o objetivo de encontrar a melhor combinação possível de uma situação confortável.

Esse tipo de estudo foi desenvolvido por Fanger (1970), que estabeleceu três condições fisiológicas e ambientais necessárias para que a pessoa se encontre em estado de conforto térmico: estar em neutralidade térmica, possuir a temperatura da pele e taxa de secreção de suor dentro de limites aceitáveis de acordo com a atividade e não estar sujeito a nenhum tipo de desconforto térmico localizado, como: correntes de ar indesejáveis, diferenças na temperatura do ar no sentido vertical, contato com pisos aquecidos ou resfriados. Esse tipo de pesquisa fornece subsídios para o equacionamento e cálculos analíticos de conforto térmicos das normas internacionais (ALMEIDA, 2010).

Já nos estudos em campo, as variáveis ambientais são medidas diretamente no ambiente real, com as pessoas desenvolvendo suas atividades de lazer ou de trabalho. O pesquisador não interfere nas variáveis ambientais e pessoais; as pessoas expressam suas sensações e preferências térmicas em escalas apropriadas.

Dessa forma, Fanger (1970) descreve que a principal razão para se criarem condições de conforto térmico reside na satisfação humana, ou seja, no desejo do homem sentir-se termicamente confortável. Atualmente, as pesquisas relacionam o conforto térmico com a produtividade humana, conservação de energia e padrões de conforto relativos ao clima.

Em relação a produtividade humana e o local de trabalho, nos últimos anos alguns estudos científicos provaram que os indivíduos não têm respondido positivamente em relação ao seu ambiente (SILVA, 2001, WYON, 1994; CHIU, 1991). Os gerentes têm reconhecido que o aumento da satisfação ambiental colabora para uma melhor produtividade entre os trabalhadores (LORSCH & ABDON, 1994). Estudos mostraram que se trabalhadores tem acesso a controlar individualmente os sistemas de climatização, ocorre um aumento da produtividade na ordem de 2,8% para mais de 8,6%, desde que os fatores ambientais estivessem bem ajustados e controlados (WYON, 1996). Para Lorsch & Abdou (1994), um trabalhador bem preparado com condições plenas de conforto, e equipamentos com eficiência assegurada através de manutenções periódicas, poderá contribuir para o aumento de produtividade do trabalhador.

## 2.5 ESTUDOS SOBRE O CONFORTO TÉRMICO HUMANO

A partir do desenvolvimento de pesquisas em ergonomia, com foco principalmente na adequação das tarefas e ambientes ao trabalhador, estudos têm sido realizados com o objetivo de verificar a relação entre o conforto térmico e o desempenho humano. Em 2002, na Conferência de Windsor, foram reunidos os principais pesquisadores sobre o conforto térmico, entre eles, Olesen Fanger, DeDear, Gail Brager, Fergus Nicol, Ken Parsons e Michael Humphreys. Foram debatidas as principais vertentes de pensamento sobre o tema, principalmente no padrão atual de avaliação de conforto térmico – ISO 7730.

Tendo em vista que a norma ISO 7730 foi baseada em pesquisas realizadas na década de 1960, para Nicol (2002) é oportuno realizar uma revisão completa da norma a fim de integrar novos conhecimentos, visto que durante esses anos vários pesquisadores investigaram os aspectos específicos de conforto térmico em laboratório e em campo.

Alguns pesquisadores procuram explicar o conforto térmico utilizando uma abordagem com aplicação da física e da fisiologia para o equilíbrio térmico do ser humano sob condições controladas em laboratório. Esta abordagem é exemplificada pelo índice PMV / PPD descrito por Fanger em 1970. Por outro lado, existem estudos que defendem a idéia de avaliar o conforto térmico a partir de análises estatísticas em pesquisas de campo. Esta abordagem é atualmente a mais utilizada nos trabalhos e pesquisas da área, pois sugere que o ser humano, quando se encontra desempenhando suas atividades em ambientes reais, apresenta-se mais tolerante à mudança de temperatura do que nos ambientes controlados em laboratório. Portanto, neste caso, os pesquisadores defendem a idéia que o homem é adaptável às diferentes temperaturas.

Estudos de campo de Becker e Paciuk (2009) avaliaram a sensação térmica, conforme modelo de Fanger, e verificaram que os votos de sensação real foram significativamente superiores à média prevista dos votos do PMV.

Diversas pesquisas têm mostrado que os resultados apresentados pelo modelo do PMV diferem significativamente dos encontrados em pesquisas de campo, quando se analisam diretamente as sensações térmicas relatadas pelas pessoas. Entre essas pesquisas podem-se citar as de Humphreys (1996), Araújo (1996), Dear (1998), Xavier (2000), Vergara & Lamberts (2001); Havenith, Holmeâr & Ken (2002), entre outras.

Estudos realizados por Isawa, Shukuya & Komizo (2003) analisaram a relação entre consumo de energia do corpo humano com a temperatura do ambiente e temperatura média radiante. Ambas as pesquisas compararam os valores da taxa metabólica em combinações diferentes de temperatura de ar e temperatura média radiante para as previsões do modelo PMV / PPD. Os estudos concluíram que o menor consumo de energia ocorre quando o indivíduo se apresenta em neutralidade térmica (PMV = 0).

Em outra pesquisa, Nelson *et al* (1987) analisaram a relação entre produtividade, fadiga e estado psicológico em câmaras com temperatura e umidade controlada. O estudo mostrou que em ambiente frio, a produtividade e concentração foram consideravelmente mais altas e que a fadiga desenvolveu-se mais lentamente. Ainda o estudo finaliza que, apesar de não dispor de resultados definitivos quanto às relações entre conforto térmico e desempenho, é importante



desenvolver projetos que levem em consideração a opinião das pessoas e que facilitem o ganho de radiação solar em climas frios sendo imprescindível e que esses projetos estejam de acordo com normas específicas.

Os autores Humphreys & Nicol (1996), apontaram incorreções no modelo PMV, e sugeriram uma revisão do índice baseado na temperatura da pele e na taxa de secreção de suor através de uma escala sensorial determinada através das guias da ASHRAE (1997) e ISO 10551 (1995). Neste estudo, os autores sugeriram a possibilidade de se introduzir um coeficiente (decremento) para ponderar a temperatura média da pele, de modo que balanço térmico seja restabelecido. Outro autor que questionou a precisão da taxa metabólica foi TAFFÉ (1997). Para ele, indivíduos realizando a mesma atividade, os valores na taxa metabólica, se fossem medidas com precisão, seriam valores diferentes.

## 2.6 MODELO DE BALANÇO TÉRMICO ENTRE O HOMEM E O AMBIENTE

As normas relacionadas à avaliação do conforto térmico são descritas pela ISO (*Internacional Organization for Standardization*) e a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc*).

As equações e métodos de avaliação do conforto térmico descritas na norma ISO 7730 (2005) intitulada, “Ambientes térmicos moderados: determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para o conforto térmico” são utilizadas como principal referência mundial para elaboração de pesquisas. Esta norma propõe métodos para determinação da sensação térmica e do grau de desconforto das pessoas em ambientes térmicos moderados, com base no modelo de balanço térmico entre o homem e o ambiente proposto por Fanger (1970).

A partir da necessidade de relacionar as variáveis ambientais com as variáveis pessoais para obter o conforto térmico do homem, Fanger desenvolveu experiências em laboratório com 1300 pessoas, a fim de estabelecer uma equação que permitisse o conhecimento das variáveis ambientais e pessoais. Esse modelo é conhecido como estacionário ou permanente, pois considera que o corpo humano, em determinado ambiente, encontra-se em estado de equilíbrio, próximo à condição de neutralidade térmica (GOMES, 2007).

Conforme Fanger (1970), a primeira condição para que um ser humano esteja em conforto térmico é que se encontre em balanço térmico, ou seja, o calor gerado pelo organismo, menos o trabalho externo, precisa ser igual às perdas para o meio ambiente. A forma mais completa de descrever os efeitos do ambiente térmico sobre o corpo humano é através da equação do balanço de energia [1].

$$M - W = Q_{sk} + Q_{res} = (C + R + E_{dsk}) + (C_{res} + E_{res}) \quad [1]$$

Onde:

M = Taxa metabólica ou produção de calor pelo organismo. Depende do tipo de atividade que a pessoa realiza, é determinada conforme as descrições da ISO8996 (2004);

W = Taxa de eficiência mecânica. Depende da atividade, e seu valor é igual a zero para a maioria das atividades sedentárias;

$Q_{sk}$  = Perda total de calor através da pele ( $Q_{sk} = E_{sk} + K_{cl}$ );

$Q_{res}$  = Perda total de calor através da respiração;

C+R = Perda de calor sensível pela pele através da convecção e radiação. A convecção na pele é função da diferença entre as temperaturas da pele e do ar, da velocidade do ar, bem como do tipo de vestimenta. Já a radiação pela pele depende da temperatura radiante média, tipo de roupa, temperatura da pele e do coeficiente de radiação e da posição em que se encontra a pessoa;

$E_{dsk}$  = É a perda de calor latente pela pele, por evaporação. Depende do coeficiente de convecção, tipo de roupa, pressão parcial do vapor d'água (função da umidade do ar, e da fração de pele úmida (w), representada pela porcentagem da superfície do corpo molhada de suor).

$K_{cl}$  = Perda de calor por condução da pele para superfície externa das roupas;

$C_{res}$  = É a perda sensível de calor por convecção pela respiração, sendo obtida em função da temperatura do ar e do tipo de atividade, pois conforme aumenta o esforço físico a respiração é acelerada;

$E_{res}$  = É a perda de calor latente pela respiração, por evaporação. Igualmente depende da atividade, pelo motivo apresentado no item anterior. Depende

também da diferença de pressão parcial de vapor d'água no ar e na superfície das mucosas do aparelho respiratório.

Todos os termos da equação [1] são expressos em energia por unidade de área ( $W/m^2$ ), e referem-se à área do corpo nu ou área de superfície corporal (ASP). O cálculo dessa área é dada através da equação [2] de DuBois ( $A_D$ ):

$$A_{Du} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725} \quad [2]$$

Onde:

$A_{Du}$  = Área superficial do corpo, ou área de DuBois ( $m^2$ );

$m$  = Massa do corpo (kg);

$l$  = Altura do corpo (m).

Para que uma pessoa se encontre confortável, não basta apenas que esteja em balanço térmico. Segundo a ASHRAE (2004), as variáveis fisiológicas que interferem no balanço de energia são a temperatura média da pele ( $t_{skm}$ ) e a taxa de evaporação do suor ( $E_{esk}$ ), encontradas conforme a atividade desempenhada pelo indivíduo. A ASHRAE (2004) descreve que conforme aumenta o nível de atividade física, a temperatura média da pele deve diminuir, a partir do valor correspondente à condição de repouso total. Em seguida, a taxa de evaporação do suor deve aumentar de acordo com a atividade física, ou seja, se o esforço físico aumenta, a temperatura da pele diminui e a evaporação aumenta, assim facilita a perda de calor que tende a se acumular no interior do organismo.

As trocas de calor pela pele, respiração, e por condução através das roupas relativas a equação [1], são calculadas pelas seguintes expressões apresentadas pelas equações empíricas de [3] a [10].

$$C_{res} = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \quad [3]$$

$$E_{res} = 0,0173 \cdot M(5,87 - p_a) \quad [4]$$

$$E_{dsk} = 3,05 \cdot [5,73 - 0,007 \cdot (M - W) - p_a] \quad [5]$$

$$E_{esk} = 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \quad [6]$$

$$t_{skm} = 35,7 - 0,0275 \cdot (M - W) \quad [7]$$

$$Q_{S, sk} = \frac{t_{skm} - t_{cl}}{0,155 \cdot l_{cl}} \quad [8]$$

$$C = f_{cl} \cdot H_c \cdot (t_{cl} - t_a) \quad [9]$$

$$R = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] \quad [10]$$

Onde:

$C_{res}$ = Perda sensível de calor por convecção pela respiração;

$E_{res}$ = Perda de calor latente pela respiração, por evaporação;

$E_{dsk}$ = Perda de calor latente pela pele, por evaporação;

$E_{esk}$ = Perda de calor latente por evaporação do suor pela pele;

$t_{skm}$  = Temperatura média da pele (°C);

$Q_{s,sk}$ = Perda de calor por condução, da superfície da pele para a superfície externa da roupa, que por sua vez é igual ao montante de calor perdido por convecção e radiação.

$C$  = Perda sensível de calor por convecção pela pele (W/m<sup>2</sup>);

$R$  = Perda sensível de calor por radiação pela pele (W/m<sup>2</sup>).

Ao substituir as equações [3] a [10] na equação [1] resulta na equação dupla do balanço térmico [11]:

$$(M - W) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_a) - 3,05 \cdot [5,73 - 0,007 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W)] - 58,15 \frac{35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - t_{cl}}{0,155 \cdot I_{cl}} = f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) + 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] \quad [11]$$

Os termos da equação [11] são obtidos através das medições das variáveis ambientais conforme ISO 7726 (1998) e as variáveis pessoais são estimadas pelas tabelas existentes na ISO8996 (2004) e ISO 9920 (2007) com exceção da temperatura superficial externa das roupas, calculada através da equação [13]:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028M - 0,155 \cdot I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad [13]$$

Sendo:

$$h_c = 2,38 \cdot (t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ ou } h_c = 12,1 \cdot \sqrt{V_{ar}} \quad \text{utiliza-se o maior;} \quad [14]$$

$$h_c = 1,00 + 0,2 \cdot I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} \leq 0,5 \text{ clo ou } f_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl} > 0,5 \text{ clo.} \quad [15]$$

Onde:

$t_{cl}$ = Temperatura superficial média das roupas, em °C;

$I_{cl}$ = Isolamento térmico das vestimentas, em clo;

$t_a$ = Temperatura do ar, em °C;

$p_a$ = Pressão parcial de vapor de água, em kPa;

$t_{rm}$ = Temperatura radiante média, em °C;

$h_c$ = Coeficiente de convecção entre as roupas e o ar, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$f_{cl}$ = Razão entre as áreas do corpo vestido e nu, adimensional.

O modelo humano de balanço térmico não deve ser analisado somente como um problema físico de transferência de calor, deve-se também considerar os mecanismos termorreguladores, pois eles interferem ativamente e podem alterar as condições de troca de calor. Os mais importantes mecanismos termorreguladores são: a vasoconstrição e a vasodilatação periférica sanguínea, o suor e o arrepio (VERGARA, 2001).

## 2.7 VARIÁVEIS AMBIENTAIS E PESSOAIS NA DETERMINAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

Os cálculos analíticos do conforto térmico, baseados em estudos em câmaras climatizadas, apresentam seis variáveis que influenciam o conforto térmico, conforme quadro 2:

<b>Variáveis pessoais/subjetivas</b>	Atividade desempenhada, $M$ ( $W/m^2$ )
	Isolamento térmico das roupas utilizadas, $I_{cl}$ (clo)
<b>Variáveis ambientais</b>	Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )
	Temperatura radiante média, $t_{rm}$ ( $^{\circ}C$ )
	Velocidade do ar, $V_a$ (m/s)
	Umidade Relativa do ar (UR)

**Quadro 2 - Variáveis ambientais, pessoais que interferem no conforto térmico.**

**Fonte: Pesquisador**

As duas primeiras variáveis são chamadas de pessoais, por não dependerem do ambiente; as outras são denominadas de variáveis ambientais. Segundo Barbiero (2004), o estudo das variáveis ambientais é fundamental para avaliação do ambiente térmico, tendo em vista as particularidades climáticas do local, que poderão induzir as melhores adequações ergonômicas e arquitetônicas a fim de alcançar o conforto térmico, bem estar das pessoas e eficiência energética.

Para descrever o comportamento térmico de um ambiente, é necessário conhecer alguns parâmetros físicos ambientais descritos na norma ISO 7726 (1996), e que são medidos diretamente no local de estudo ou calculados a partir de outras medidas conforme segue:

- Temperatura do ar ( $t_{ar}$ ) é a variável determinante para a sensação térmica dos seres humanos. Pode ser definida como a condição básica que determina o fluxo de calor entre os corpos. Para a ISO DIS 7726 (1998) a temperatura do ar possui grande importância nas trocas de calor por convecção entre o corpo e o ar.
- Temperatura média radiante ( $t_{rm}$ ) é a temperatura que se processa através da transferência de calor por meio da radiação e se propaga nas superfícies adjacentes ao ambiente circundante, transmitindo às pessoas o calor produzido. Desta forma, pisos, paredes, teto e equipamentos, elementos do

espaço interno e elementos do espaço externo, emitem radiações que servem de intercâmbio de calor entre o homem e o ambiente (RIVERO, 1986).

- Velocidade do ar ( $V_{ar}$ ) é uma variável de grande influência no conforto térmico do homem, pois favorece os processos de troca de calor do corpo com o ar ambiente através da convecção e da evaporação. Assim, a sensação térmica humana é determinada pela intensidade da ventilação. Especialmente para o clima quente-úmido, a ventilação representa um fator imprescindível, visto que representa o fator climático que ajuda a diminuir a sensação térmica desconfortável provocada pelo calor e favorece o processo de evaporação do suor.
- Umidade relativa do ar (UR) é a razão entre a massa de água de vapor existente no ar e o máximo que este pode conter, ou seja, é a relação percentual entre a Pressão de Vapor Atual (PA) e a Pressão de Vapor Saturante (PVS). Tem forte relação com a temperatura do ar no tocante ao conforto térmico dos indivíduos. Como fator relevante à saúde, a umidade relativa do ar (UR) não deve ser inferior a 20%, para não ocorrer o ressecamento das mucosas (nariz, boca e garganta).

Além dos fatores ambientais, duas variáveis pessoais influenciam no equilíbrio térmico entre o homem e o meio, a taxa metabólica classificada de acordo com a atividade, e o isolamento térmico das vestimentas. Essas variáveis são estimadas conforme tabelas existentes nas Normas Internacionais, como a ISO 7730 (2005), ISO8996 (2004) e ISO 9920 (2007), bem como em manuais e guias, como o constante na ASHRAE Fundamentals (2004).

Porém, segundo Xavier (2000), no que se refere ao tipo de vestimenta, as tabelas apresentam grandes imprecisões em suas estimativas, devido à diversidade de tecidos e de roupas. No caso da estimativa da taxa metabólica, as tabelas não levam em consideração a maneira pela qual a atividade está sendo desempenhada e se a pessoa está adaptada ou não. Ambas as situações, geram grandes imprecisões em suas estimativas, podendo chegar a 25% para o caso do isolamento térmico das roupas e a mais de 50% na estimativa da taxa metabólica, conforme a própria ASHRAE Fundamentals (2004). Essas imprecisões já foram apontadas por outros autores, como Rohles (1980), Ong (1995) e Dear & Brager (1998), entre outros.

## 2.8 MODELO FANGER DE AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

O método de Fanger (PMV/ Norma ISO 7730/2005) é resultado de cinco anos de estudos no Laboratório de Calefação e Ar Condicionado da Universidade Técnica da Dinamarca e no Instituto de Pesquisas Ambientais da Universidade de Kansas, nos Estados Unidos (RORIZ, 1996). Através do cálculo das respostas térmicas dos usuários, obtidas por meio de votos da sensação térmica (Figura 1), Fanger determinou os níveis de conforto ou desconforto térmico estabelecido pelas pessoas, quando submetidas a determinado meio térmico.

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
- 1	Levemente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Figura 1- Escala de sensação térmica adaptada ASHRAE (2004).

Com base nesses dados, Fanger utilizou diagramas computacionais para obter combinações das variáveis que resultavam em neutralidade térmica, porém havia também combinações de variáveis que não resultavam em neutralidade térmica e que, por consequência, geravam desconforto. A partir desses resultados, Fanger desenvolveu um método de avaliação do grau de desconforto, chamado *Predicted Mean Vote* – PMV ou Voto Médio Estimado – VME, também conhecido como sensação analítica de conforto, que se baseia no balanço de calor do corpo com o ambiente. O PMV é determinado pela equação 16:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_{ar}) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_{ar}) \quad [16]$$



Onde:

PMV = Voto médio estimado, ou sensação de conforto;

M = Taxa metabólica, em  $W/m^2$ ;

W = Trabalho mecânico, em  $W/m^2$ , sendo nulo para a maioria das atividades;

$I_{cl}$  = Resistência térmica das roupas, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ;

$f_{cl}$  = Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu;

$t_{ar}$  = Temperatura do ar, em  $^\circ C$ ;

$t_{rm}$  = Temperatura radiante média, em  $^\circ C$ ;

$v_{ar}$  = Velocidade relativa do ar, em m/s;

$p_a$  = Pressão parcial do vapor de água, em Pa;

$h_c$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$t_{cl}$  = Temperatura superficial das roupas, em  $^\circ C$  é calculada iterativamente através da equação 17:

$$K_{cl} = \frac{[35,7 - 0,028(M - W)] - t_{cl}}{0,155 \cdot I_{cl}} \quad [17]$$

Para a utilização da equação do PMV é preciso considerar:

1 met = 58,2  $W/m^2$ ;

1 clo = 0,155  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ;

Recomenda-se o uso do índice PMV quando:

M = 46  $W/m^2$  a 232  $W/m^2$  (0,8 met a 4 met)

$I_{cl}$  = 0  $m^2 \cdot ^\circ C/W$  a 0,310  $m^2 \cdot ^\circ C/W$  (0 clo a 2 clo)

$t_{ar}$  = 10 a 30 $^\circ C$

$t_r$  = 10 a 40 $^\circ C$

$v_{ar}$  = 0 m/s a 1 m/s

$p_a$  = 0  $p_a$  a 2700  $p_a$

O PMV representa as sensações térmicas médias das pessoas sob determinadas condições ambientais e individuais, através de uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio. Como mencionado anteriormente, verificou-se que a cada sensação térmica correspondia um determinado número de pessoas com ela

insatisfeitas. Essa situação foi representada por outro índice, denominado PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), Índice de Insatisfação das Pessoas conforme a equação 18:

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 1,2179 \cdot PMV^2)] \quad [18]$$

Observa-se pela expressão acima que para uma situação plena de conforto, o índice do PMV deve ser igual 0 (zero), o PPD resultante é da ordem de 5%. Como o PPD representa a percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, as pessoas restantes encontram-se termicamente neutras ou confortáveis, levemente aquecidas ou levemente com frio, com votos de sensação térmica de +1, 0 ou -1 (RUAS, 1999).

A ISO 7730 (2005) considera que um ambiente é satisfatório quando o mesmo atende um percentual acima de 80% de seus usuários. Para isto, é necessário atingir uma determinada temperatura de conforto térmico, na qual inclui temperatura operativa de conforto, temperatura neutra e temperatura interna de conforto. A combinação destas temperaturas com outras condições ambientais e individuais fornece um *PMV* (*VME*) de valor igual a 0 (zero), estabelecendo a condição de neutralidade térmica em um corpo, anulando assim a carga térmica atuante sobre ele (GOMES, 2007).

Segundo Xavier (1999), o emprego desta norma deve ser aplicada com cautela, uma vez que o *PMV* é um modelo matemático desenvolvido a partir de experiências em laboratório, onde todas as variáveis são controladas. Dessa forma, em pesquisas de campo não se pode garantir que essas variáveis sejam controladas devido à dificuldade de recursos técnicos necessários e isso pode gerar erros consideráveis durante a avaliação do conforto térmico.

## 2.9 DETERMINAÇÃO DA TAXA METABÓLICA

O processo de balanço térmico entre o homem e o ambiente tem seu início na determinação da taxa metabólica ou na produção de calor pelo organismo. Tal mecanismo é obtido através da conversão de energia química em energia mecânica e térmica (ISO 8996, 1990). Desse processo, 80% da energia produzida é

transformada em calor e deve ser dissipada para que o organismo se mantenha em equilíbrio térmico (PACHECO, 2007).

Segundo a ISO 8996 (2004), a taxa metabólica é expressa em MET, sendo que 1 MET corresponde a 58,2 W/m<sup>2</sup>. Esse valor é igual à energia produzida por unidade de área superficial do corpo para uma pessoa sentada em repouso (a área superficial aproximada de uma pessoa média é de 1,8 m<sup>2</sup> de pele). Os valores dessa variável podem ser obtidos através da tabela A.1 da ISO 7730 (2005), ASHRAE (2004) ou através dos métodos descritos na ISO 8996 (2004).

A ISO 8996 (2004) fornece métodos e dados para estimar a produção de calor metabólico dos seres humanos. Esses métodos são utilizados para estimar o gasto energético tanto para aplicações práticas nos ambientes de trabalho como em atividades desportivas e fornece um suporte fundamental para outras ISO referente à estimativa de conforto térmico. Para melhor entendimento, a norma classifica quatro níveis para a estimativa da taxa metabólica conforme Quadro 3.

Nível	Método	Acuracidade	Inspeção do local de trabalho
I	<p><b>A</b> - Classificação de acordo com o tipo de atividade (repouso, taxas de atividade baixa, moderada, alta e muito alta);</p> <p><b>B</b> - Classificação de acordo com ocupação ou valores médios para um ciclo de trabalho, não considera longas pausas, por exemplo, lanches;</p>	Informações brutas, onde o risco de erro é muito grande	<p>Não é necessário tempo para estudo</p> <p>Informações técnicas sobre equipamentos e organização do trabalho</p>
II	<p><b>A</b>: A taxa metabólica é determinada pela taxa metabólica basal, postura corporal, tipo e velocidade de trabalho, (utiliza tabelas de avaliação em grupo);</p> <p><b>B</b>: A taxa metabólica é determinada através de valores tabelados para atividades específicas.</p>	Alto risco de erro: Acuracidade: ± 20%	É necessário tempo para estudo
III	<b>A</b> : Medição do consumo de oxigênio; Este método determina a taxa metabólica de forma indireta baseado na relação entre consumo de oxigênio e a frequência cardíaca.	Risco de erros dentro dos limites de acuracidade da medição e do estudo a tempo: Acuracidade: ± 10%	É necessário tempo para estudo
IV	<b>A</b> : Medição do consumo de oxigênio em períodos curtos (10 a 20 min) (É necessário um estudo detalhado do tempo a fim de representar o período	Erros dentro dos limites de medição. Acuracidade: ± 5%	É necessário tempo para estudo

de medição);		Inspeção no local de não é necessário, porém deve avaliar as atividades de lazer
<b>B:</b> Método da água duplamente marcada; Objetiva caracterizar a taxa metabólica média durante períodos longos (1 a 2 semanas);		Inspeção do local de trabalho não é necessário
<b>C:</b> Calorimetria direta.		

**Quadro 3 - Métodos de estimativa da taxa metabólica.**

Fonte: ISO8996 (2004)

Os caminhos para a obtenção da taxa metabólica proposta pela ISO 8996 (2004) diferem na exatidão dos resultados e na aplicabilidade prática. O nível I utiliza tabelas para estimar a taxa metabólica conforme a atividade (método A) e de acordo com ocupação (método B), como podem ser observados nos Quadros 4 e 5.

Classificação	Valor utilizado para calcular a taxa metabólica		Exemplos de atividades
	W/m <sup>2</sup>	W	
<b>0</b> <b>Repouso</b>	65 (55 a 70)	115 (100 a 125)	Sentado, á vontade.
<b>1</b> <b>Baixa taxa metabólica</b>	100 (70 a 130)	180 (125 a 235)	Sentado realizando trabalho manual leve: digitação, escrita, desenho, costura, contabilidade; Sentado utilizando a mãos e os braços: ferramentas de banco de pequeno porte, inspeção, montagem ou separação de materiais leves; Atividade utilizando braço e membros inferiores: dirigir veículo em condições normais, ou atividade que utiliza algum tipo de pedal; Atividade em pé: perfuração de peças pequenas; fresadora de peças pequenas; enrolamento de bobinas; operar máquina com ferramentas de baixa potência; Caminhar de maneira casual a uma velocidade de até 3,5 Km /h.
<b>2</b> <b>Moderada taxa metabólica</b>	165 (130 a 200)	295 (235 a 360)	Atividades utilizando braços e membros inferiores: operar caminhões, tratores ou equipamentos de construção; Atividades utilizando braços e tronco: trabalho com martelo pneumático, trator de montagem, manipulação de gesso, trabalhos com manipulação intermitente de material moderadamente pesado, colheita de frutas ou legumes, empurrar ou puxar carrinhos de peso ou carrinhos de mão, caminhar a uma velocidade de 3,5 km / h para 5,5 km /h.
<b>3</b> <b>Alta taxa metabólica</b>	230 (200 a 260)	415 (360 a 465)	Atividades que utilizam braços de forma intensa e tronco: carregamento de material pesado; trabalho com marreta; serrar; cinzelar madeira; escavação; caminhar a uma velocidade de 5,5 a 7 km/h. Empurrar ou puxar carrinho de mão muito carregado ou carregar bloco de concreto.
<b>4</b> <b>Taxa</b>	290 (>260)	520 (>466)	Atividade muito intensa em ritmo rápido ou máximo; trabalhar com um machado; escavação; subir escadas ou rampas

metabólica muito alta		rapidamente; caminhar rapidamente ou correr a uma velocidade superior a 7 Km / h.
--------------------------	--	---

**Quadro 4 - Classificação da taxa metabólica conforme a atividade.**  
**Fonte: ISO8996 (2004), Anexo A, nível I.**

Atividade conforme ocupação	Taxa metabólica W/m <sup>2</sup>
<b>Trabalho de escritório</b>	
Trabalho sedentário	55 a 70
Trabalho de escritório	70 a 100
Zelador	80 a 115
<b>Artesãos</b>	
Pedreiro	110 a 160
Carpinteiro	110 a 175
Vidraceiro	90 a 125
Pintor	100 a 130
Padeiro	110 a 140
Açougueiro	105 a 140
Reparador de relógio	55 a 70
<b>Indústria de extração mineral</b>	
Transportador	70 a 85
Carvão Hewer (estratificação baixa)	140 a 240
<b>Indústria siderúrgica</b>	
Forneiro	170 a 220
Forneiro elétrico	125 a 145
Moldagem manual	140 a 240
Moldagem na máquina	105 a 165
Fundidor	140 a 240
<b>Indústria Metalúrgica</b>	
Ferreiro	90 a 200
Soldador	75 a 125
Torneiro	75 a 125
Operador de máquina de perfuração	80 a 140
Precisão mecânica	70 a 110
<b>Profissão gráfico</b>	
Desenhista	70 a 95
Encadernador	75 a 100
<b>Agricultura</b>	
Jardineiro	115 a 190
Tratorista	85 a 110
<b>Tráfego</b>	
Motorista de carro	70 a 90
Motorista de ônibus	75 a 125
Condutor elétrico	80 a 115
Motorista elétrico	80 a 125
Operador de guindaste	65 a 145
<b>Outras profissões</b>	

Assistente de laboratório	85 a 100
Professor	85 a 100
Balconista	100 a 120
Secretário	70 a 85

**Quadro 5 - Classificação da taxa metabólica conforme ocupação.**

Fonte: ISO8996 (2004), Anexo B, nível I.

Ambos os métodos do nível I, as taxas metabólicas não apresentam valores inteiros, dessa forma, cabe ao avaliador classificar a atividade em limite inferior e superior.

O nível II também apresenta dois métodos para determinar a taxa metabólica através de tabelas. No método A, as tabelas utilizam avaliação em grupo e levam em consideração a taxa metabólica basal, postura corporal, tipo e velocidade de trabalho, conforme Quadro 6.

N.	Atividade	Taxa metabólica (W/m <sup>2</sup> )				Resultado
		Taxa metabólica basal	Postura corporal	Tipo de trabalho	Movimento do corpo	
1	Caminhar, lentamente. Exemplo: limpar as folhas de um gramado	44	0	65	60	170
2	Pranchas de alisamento à mão (em pé, agachado);	44	30	125	0	200
3	Em pé com flexão de tronco. Exemplo: o trabalho pesado como preenchimento de linhas ferroviárias	44	30	280	0	355
4	Trabalho pesado. Exemplo: Caminhar empurrando um carro pesado.	44	0	280	120	445

Nota: Devido à precisão limitada deste método os resultados podem ser arredondado para o 5 W/m<sup>2</sup>

**Quadro 6 - Classificação da taxa metabólica conforme tabela de avaliação em grupo.**

Fonte: ISO8996 (1990).

O método B a taxa metabólica é determinada através de valores tabelados para atividades específicas (Quadro 7).

Atividades		Taxa metabólica W/m <sup>-2</sup>
Dormindo		40
Reclinável		45
Sentado em repouso		55
Em pé em repouso		70
Caminhar no mesmo nível em piso sólido		
1. Sem carga	Menos de 2 km/h <sup>-1</sup>	110
	Até 3 km/h <sup>-1</sup>	140
	Até 4 km/h <sup>-1</sup>	165
	Até 5 km/h <sup>-1</sup>	200

2. Com carga	10 kg, 4 km/h <sup>-1</sup> 30 Kg, 4 km/h <sup>-1</sup>	185 250
<b>Caminhar em locais onde não tem o mesmo nível em piso sólido</b>		
1. Sem carga	5 <sup>o</sup> inclinação, 4 km/h <sup>-1</sup> 15 <sup>o</sup> inclinação, 3 km/h <sup>-1</sup> 25 <sup>o</sup> inclinação, 4 km/h <sup>-1</sup>	180 210 300
2. Com carga de 20 Kg	15 <sup>o</sup> inclination, 4 km/h <sup>-1</sup> 25 <sup>o</sup> inclination, 4 C	270 410
Caminhar em decida a 5 km/h <sup>-1</sup> , sem carga	5 <sup>o</sup> inclinação 15 <sup>o</sup> inclinação 25 <sup>o</sup> inclinação	135 140 180
<b>Subir escada com inclinação de 70<sup>o</sup>, a 11,2 m.min<sup>-1</sup></b>		
Com carga		290
Com uma carga de 20Kg		360
<b>Empurrar ou puxar vagão de onibus, a 3,6 km/h<sup>-1</sup></b>		
Empurrar uma de carga: 12Kg		290
Empurrar uma de carga: 16Kg		375
<b>Empurrar carrinho de mão, a 4,5 km/h<sup>-1</sup> com 100 kg de carga</b>		
Ferro de depósito	42 lançamentos de material por minuto	100
	60 lançamentos de material por minuto	190
<b>Trabalhar com um martelo, utilizando as duas mãos, sendo que a massa do martelo é de 4,4 Kg, 15 movimentos / min</b>		
Trabalho de carpintaria	Serrar com as mãos	220
	Serrar com uma máquina	100
	Planejamento a mão	300
Assentar 5 tijolos / min		170
Parafusar		100
Cavar uma trincheira		290
Atividade sedentária (habitação, escritório, escola, laboratório)		70
Em pé, executando atividade leve (compras, laboratório, indústria leve)		95
Atividade em pé (assistente de loja, trabalho doméstico)		115
<b>Operador de máquina</b>		
Leve (ajuste e montagem)		100
Médio (carregamento)		140
Pesado		210
<b>Trabalhar com uma ferramenta de mão</b>		
Leve		100
Médio (polimento)		160
Pesado (perfuração)		230

**Quadro 7 - Classificação da taxa metabólica em atividades específicas.**

**Fonte: ISO8996 (2004).**

Segundo a própria ISO 8996(2004), na metodologia descrita no nível I e II, a possibilidade de erros é alta, pois é necessário um estudo de tempo para determinar a taxa metabólica em diferentes atividades para um determinado ciclo. As tabelas de estimativas da taxa metabólica constantes na ISO 8996 (2004) consideram os valores fixos para uma população com as seguintes características, conforme Quadro 8:

<b>Gênero</b>	<b>Masculino</b>	<b>Feminino</b>
Idade	30 anos	
Altura	1,75m	1,70m
Massa	70Kg	60Kg
Área de superfície corporal	1,8 m <sup>2</sup>	1,6 m <sup>2</sup>

**Quadro 8 - Características da população para estimativa da taxa metabólica.**  
**Fonte: ISO 8996 (2004)**

De acordo com Xavier (2000), esses métodos proporcionam uma estimativa superficial da taxa metabólica, visto que os valores pré-determinados através das tabelas podem levar a grandes erros de precisão, pois os valores são estimados sem considerar o tipo de atividade desempenhada, gênero, estatura, massa, adaptação à atividade, condicionamento físico, metabolismo basal, hábitos alimentares, nível de stress emocional entre outros.

O método III determina a taxa metabólica de forma indireta baseado na relação entre consumo de oxigênio e frequência cardíaca. Nesse caso, é realizado um registro da frequência cardíaca através de um equipamento específico durante um período representativo.

No nível IV, três métodos são apresentados e se obtém resultados mais precisos que devem ser executados por profissionais habilitados. No método A, a taxa metabólica é determinada através da medição do consumo de oxigênio em períodos de 10 a 20 minutos. É necessário realizar um estudo detalhado do tempo para se encontrar a melhor representatividade das medições. O método B, chamado método da água duplamente marcada, tem como objetivo determinar a taxa média metabólica durante períodos mais longos, de 1 a 2 semanas. O método C, calorimetria direta, é o que se apresenta com maior fidedignidade, porém necessita de equipamento específico e com alto custo.

O método apontado por essa norma com maior exatidão descrito no nível IV, é a determinação da taxa de metabolismo através da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico durante a atividade para calcular o calor metabólico produzido. Nesse caso, a norma estabelece o Equivalente Energético (EE) de oxigênio utilizado para converter o consumo de oxigênio em taxa metabólica. O equivalente energético depende do tipo de metabolismo que é



indicado pelo quociente respiratório. A taxa metabólica pode ser determinada pelas equações 23, 24 e 25.

$$EE = (0,23RQ + 0,77) \times 5,88 \quad [23]$$

$$RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}} \quad [24]$$

$$M = EE \times V_{O_2} \times \frac{1}{A_{Du}} \quad [25]$$

Onde:

EE = Equivalente Energético (Wh/1<sub>O2</sub>)

RQ = Quociente respiratório, adimensional

V<sub>O2</sub> = Consumo de oxigênio (l<sub>O2</sub>/h)

V<sub>CO2</sub> = Produção de dióxido de carbono (l<sub>CO2</sub>/h)

M = Taxa metabólica (W/m<sup>2</sup>)

A<sub>Du</sub> = Área superficial do corpo, ou área de DuBois (m<sup>2</sup>);

$$A_{Du} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot l^{0,725} \quad [2]$$

Onde:

m = Massa do corpo (kg);

l = Altura do corpo (m).

A determinação do VO<sub>2</sub> durante o trabalho permite estimar o gasto energético com razoável precisão já que, em média, são produzidos 5 kcal para cada litro de oxigênio consumido. O segundo método, da ISO8996 (2004), parte do princípio que a oxidação dos alimentos é a fonte de energia do corpo humano e que o organismo necessita extrair oxigênio continuamente da atmosfera já que só pode armazenar uma quantidade muito pequena desse gás (Powers & Howley, 2006). Neste caso, a medida do volume de gás carbônico fracionado determinará o grau de erro. Assim, a precisão dos resultados e também os custos envolvidos aumenta do nível I para o nível IV, sendo que na medida do possível o método mais preciso deve ser utilizado.

Conforme a mesma norma internacional, a taxa metabólica pode ser determinada por dois métodos principais: método parcial, utilizado em avaliações de taxas metabólicas para atividades leves ou moderadamente pesadas, e método integral, utilizado em avaliações de taxas metabólicas para atividades pesadas e de curta duração. Durante uma atividade muscular, o corpo humano armazena pequenas quantidades de oxigênio, que deve ser continuamente retomada pela respiração. Os músculos podem trabalhar por um curto período de tempo sem oxigênio (trabalho anaeróbico), mas por períodos mais longos de trabalho, o metabolismo oxidativo é a principal fonte de energia (trabalho aeróbico).

A divisão desses dois métodos deve ser criteriosamente observada, visto que no caso do trabalho moderadamente pesado, o consumo de oxigênio atinge um valor estável de oxigênio. Em atividades de trabalho pesado, o oxigênio está acima do limiar aeróbico; em um trabalho muito pesado, o oxigênio permanece acima do limiar aeróbico máximo e somente é equilibrado quando o trabalho é interrompido. O método integral deve ser usado para um consumo de oxigênio de mais de 60 litros de oxigênio por hora (60  $\text{IO}_2/\text{h}$ ), equivalente a um litro de oxigênio por minuto (ISO 8996, 1990). A maneira mais correta de se determinar a taxa metabólica é através de medições, sejam diretas através de calorimetria, sejam indiretas através do consumo de oxigênio.

Segundo a norma ISO 8996 (2004) os principais fatores que afetam a precisão das estimativas da taxa metabólica são:

- Variabilidade individual;
- Diferenças nos equipamentos de trabalho;
- Diferenças na velocidade de trabalho;
- Diferenças de técnica e habilidade ao realizar o método escolhido;
- Diferenças de gênero e características antropométricas;
- Diferenças culturais.

Além desses fatores, a norma descreve que, ao utilizar as tabelas, pode ocorrer diferença entre um observador e outro, conforme o nível de formação. Ainda, ao utilizar o nível III, os fatores de estresse individual podem influenciar a frequência cardíaca e, conseqüentemente, a precisão da taxa metabólica e do consumo de oxigênio. À medida do possível, a norma sugere que seja utilizado o

método IV, pois os resultados são os mais precisos. Este método, porém, necessita equipamentos de alto custo e profissionais qualificados.

## 2.10 ESTUDOS SOBRE A DETERMINAÇÃO DA TAXA METABÓLICA

Estudo realizado por Hayward *et al* (1977), em condições laboratoriais controladas, monitorou oito pessoas que, após um período de preparo, foram imersas em tanques de água fria para provocar um decréscimo na temperatura interna do corpo e na temperatura da pele. Após 45 minutos, as pessoas foram expostas a um banho de reaquecimento. Durante todo o experimento foram medidas as temperaturas médias da pele (região xifoide e acima do tríceps) e as temperaturas internas do corpo (temperatura timpânica e retal), bem como foi sendo determinada a taxa metabólica através de medição indireta, pelo consumo de oxigênio. Ao final do experimento, os autores apresentaram correlações entre a taxa metabólica, temperatura média da pele e temperatura interna do corpo, representada nas equações 19 e 20 abaixo:

$$M = 0,0356. (t_{sk,m} - 41,80). (t_{cr,t} - 41,03) \quad [19]$$

$$M = 0,0314. (t_{sk,m} - 42,23). (t_{cr,t} - 41,38) \quad [20]$$

Onde:

M= Taxa metabólica, expressa em W/Kg;

$T_{sk,m}$ = Temperatura média da pele em  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{cr,t}$ = Temperatura interna timpânica do corpo em  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{cr,r}$ = Temperatura interna retal do corpo em  $^{\circ}\text{C}$ ;

Estudos de Frank *et al* (1999) buscou estabelecer a relação entre a temperatura média da pele, temperatura interna do corpo e sensação subjetiva de conforto térmico, em escala de 11 pontos sobre a variável taxa metabólica determinada através do consumo de oxigênio (ml/min). Os resultados dessa pesquisa mostraram que para a taxa metabólica, a contribuição da temperatura interna do corpo é em torno de 3 vezes superior à contribuição da temperatura

média da pele, enquanto que para o conforto térmico, a contribuição de ambas as temperaturas é similar. Este estudo apresentou protocolo experimental similar ao desenvolvido por Hayward *et al*, a equação obtida foi:

$$M = 5849 - 112,3t_{cr} - 41 \cdot t_{sk,m} \quad [21]$$

Onde:

M= Taxa metabólica, representada pelo consumo de oxigênio, em  $l/min$ ;

$T_{sk,m}$ = Temperatura média da pele em  $^{\circ}C$ ;

$T_{cr,t}$ = Temperatura interna do corpo em  $^{\circ}C$ ;

Outro estudo efetuado por Magalhães *et al* (1999) buscou analisar a taxa metabólica basal em estudantes universitárias do Rio de Janeiro. Neste estudo, os autores apontaram que as equações preditivas do metabolismo basal, como a proposta pela FAO/WHO/UNU em 1985, superestimavam em média de 12,5% a taxa metabólica basal, e que este desvio é principalmente notado em populações vivendo nos trópicos.

Outros fatores, citados por Guimarães (2001), que influenciam a preferência térmica das pessoas através do metabolismo, são a idade e o sexo. O autor relata que as pessoas mais idosas possuem uma taxa metabólica mais lenta, sendo que a das mulheres é levemente mais lenta que a dos homens. Conforme ASHRAE (2004), o metabolismo diminui com a idade, conforme relatados em estudos feitos nos Estados Unidos e Dinamarca, com grupos de pessoas com idades entre 21 e 84 anos.

O estudo revelou que os ambientes térmicos preferidos por pessoas mais idosas não diferem daqueles preferidos por pessoas mais jovens, porém o fato de elas preferirem o mesmo ambiente não significa que tenham a mesma sensibilidade para o frio ou calor. Quanto ao sexo, experimentos mostraram que homens e mulheres preferem os mesmos ambientes térmicos. A preferência das mulheres, muitas vezes por ambientes com temperaturas mais elevadas, pode ser explicada pela vestimenta normalmente mais pesada dos homens. Para Guimarães (2001), a sensação de conforto térmico depende também da aclimatação da pessoa, que se

dá por meio de ajustes endócrinos que ocorrem em períodos longos. Um ajuste completo é alcançado em média de 30 dias; ao final desse período, as preferências de conforto deverão ter alterado.

## 2.11 NORMAS REFERENTES AO CONFORTO TÉRMICO

As normas internacionais referentes ao conforto térmico são baseadas em estudos que envolvem variáveis que influenciam o conforto térmico em ambientes condicionados ou não, sendo estas desenvolvidas pela *International Organization for Standardization* (ISO) e *American Society of Heating Refrigerating and Air – conditioning Engineers* (ASHRAE). As normas brasileiras sobre conforto térmico inclui a Norma Regulamentadora número 17 (NR17) e a Norma Brasileira (NBR 16401) atualizada em 2008 podendo ser observadas no Quadro 9.

<p><b>ISO8996 (2004) – Ergonomia: determinação da produção de calor metabólico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essa norma apresenta uma metodologia para a determinação da produção do calor metabólico em função do tipo de atividade, por meio de tabelas ou de medidas diretas do consumo de oxigênio;</li> <li>• Indica métodos para classificar a taxa metabólica por atividades, postura do corpo, tipo de trabalho e movimento relacionado a velocidade do trabalho;</li> <li>• Apresenta níveis de produção metabólica de calor associado com atividades comuns.</li> </ul>
<p><b>ISO 7730 (2005) – Ambientes térmicos moderados: determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para o conforto térmico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propõe um método para determinação da sensação térmica e do grau de desconforto das pessoas em ambientes térmicos moderados, com base no modelo PMV e PPD proposto por Fanger (1970);</li> <li>• O PMV estima o valor médio de votos das pessoas em uma escala de sete pontos;</li> <li>• Propõe cálculos para diferentes combinações de taxa metabólica, vestimenta, temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade do ar baseado no balanço de calor do corpo humano. Estima a percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas (PPD).</li> </ul>
<p><b>ISO 9920 (2007) – Ergonomia do ambiente térmico: estimativa do isolamento térmico e da resistência evaporativa de um conjunto de vestimentas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Essa norma trata da influência das vestes no conforto térmico da pessoa, especificando as resistências aos fluxos de calor e à evaporação, em função do tipo e do número de peças;</li> <li>• Baseia-se em valores conhecidos de isolamento de vestimentas como os tecidos.</li> </ul>
<p><b>ISO 7726 (1998) – Ergonomia do ambiente térmico: instrumento para medições das variáveis físicas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esse documento define os parâmetros envolvidos no conforto térmico e orienta quanto ao processo de medições em condições confortáveis ou extremas;</li> <li>• Apresenta métodos para medição dos parâmetros físicos;</li> <li>• Define os termos utilizados nos métodos de medição e análise da interpretação,</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Divide-se em duas classes:</li> <li>• Tipo C: especificam métodos de medições em ambientes moderados, próximos às condições de conforto;</li> <li>• Tipo S: especifica métodos de medições em ambientes sujeitos a grande ou até o extremo de estresse térmico.</li> </ul>
<p><b>ASHRAE Standar 55 (2004) – Condições ambientais térmicas para ocupação humana</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É definida com as exigências baseadas em 80% aceitabilidade global, enquanto limites de descontentamento específico variam para fontes diferentes de conforto local.</li> <li>• É um método baseado nos índices PMV e PPD e a introdução do conceito de adaptação, com um método separado para edifícios naturalmente.</li> </ul>
<p><b>Norma Regulamentadora de Ergonomia n. 17</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelece parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo que proporcione o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.</li> <li>• Não define temperatura efetiva, portanto a definição utilizada neste trabalho pode não ser a mesma que tal norma estabelece.</li> </ul>
<p><b>ABNT NBR 16401 (2008) Projetos de Instalações de Ar Condicionado</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabelece parâmetros básicos e requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar condicionado centrais e unitários.</li> <li>• Especifica os parâmetros do ambiente interno. Trata da satisfação térmica média de 80% das pessoas em relação ao conforto térmico em áreas providas de ar condicionado</li> <li>• Especifica os parâmetros básicos e os requisitos mínimos para sistemas de ar condicionado, como vazões mínimas, níveis mínimos de filtragem de ar, requisitos técnicos e componentes relativos a qualidade do ar</li> </ul>

**Quadro 9 - Resumo das normas de conforto térmico.**

**Fonte: Stilpen (2007); Gomes (2007).**

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Os procedimentos utilizados no presente trabalho são apresentados a partir do levantamento de dados o que caracteriza a pesquisa como descritiva e de natureza aplicada, pois envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados com o objetivo de gerar conhecimento para aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos (SILVA & MENEZES, 2005).

Conforme mesmo autor, em relação a forma de abordagem do problema, a presente investigação pode ser considerada como uma pesquisa predominantemente quantitativa, o que significa traduzir em números as informações para classificá-las e analisá-las, requerendo ainda o uso de técnicas estatísticas.

#### 3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Conforme o objetivo do estudo em propor uma correção para a taxa metabólica tabelada ( $M_{\text{tabelada}}$ ) a partir das sensações reais o estudo primeiramente analisou o comportamento da variável taxa metabólica tabelada ( $M_{\text{tabelado}}$ ) em uma população constituída por 72 medições composta pelas variáveis ambientais, pessoais e subjetivas de acordo com dissertação de Pinto (2011).

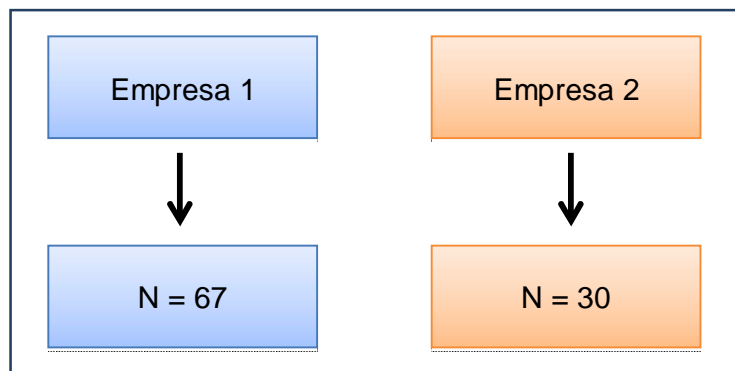
O conjunto de 72 medições foi coletado em uma indústria do setor metal mecânico localizada na cidade de Ponta Grossa – Paraná, denominada neste estudo como empresa 1. As medições ocorreram nos meses de maio, agosto e novembro de 2010, nos setores de estamperia, linha de pintura e estamperia container. A coleta dos dados foi realizada segundo os preceitos da Normalização Internacional existente, ISO 8996 (2004); ISO 7730 (2005); ISO 9920, (2007).

Do conjunto de 72 dados foram desconsiderados da análise cinco valores espúrios em relação às variáveis ambientais. Consideram-se espúrios, aqueles valores inconsistentes com a maioria dos dados de um conjunto, assim como os valores considerados falsos por sua incoerência com a realidade encontrada. Dessa

forma, a amostra foi constituída por 67 medições na qual apresentam distribuição normal para o nível de confiança de 90% de acordo com o teste de Kolmogorov e Smirnov (K-S).

Posteriormente foi realizada uma nova coleta de dados em outra indústria do setor metal mecânico (empresa 2) com o objetivo de validar a equação da taxa metabólica corrigida. Neste segundo momento, a população foi constituída por 32 medições realizadas no mês de outubro de 2011 em uma indústria de médio porte localizada na cidade de Ponta Grossa – Paraná, após a autorização da empresa através do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexo A). Do conjunto de 32 dados foram desconsiderados dois valores espúrios em relação às variáveis ambientais, constituindo a amostra por um conjunto de 30 medições.

As 30 medições foram realizadas em oito setores conforme Apêndice B, sendo: A) expedição; B) estamperia prensas; C) estamperia guilhotinas; D) estamperia dobradeiras; E) estamperia dobradeiras computadorizadas; F) pintura; G) ponteadeiras e H) ponteadeiras roupeiros. Todos os setores estão localizados no mesmo ambiente, em uma área de 6.116.18m<sup>2</sup>, sendo que o setor ponteadeiras roupeiros possui 342.24m<sup>2</sup>. A figura 2 representa as duas amostras conforme a empresa 1 e 2.



**Figura 2 – Representação das duas amostras para a determinação da taxa metabólica a partir das sensações térmicas reais.**

**Fonte: Pesquisador**

### 3.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram incluídos no estudo trabalhadores do ramo metalúrgico do setor de produção, bem como foram excluídos trabalhadores de atividades administrativas.



### 3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os parâmetros classificados como grandezas para análise do conforto térmico são classificados em três categorias, variáveis ambientais, pessoais e subjetivas. A coleta de dados seguiu as etapas:

1. Obtenção das variáveis ambientais referentes às condições termo climáticas do ambiente medidas de acordo com a ISO 7726 (1996).
  - a. Temperatura do Ar ( $T_a$ ), em °C;
  - b. Temperatura Radiante Média ( $T_{rm}$ ), em °C;
  - c. Velocidade Relativa do Ar ( $V_{ar}$ ), em m/s;
  - d. Umidade Relativa do Ar (UR), em %.

Para a obtenção das variáveis ambientais foi utilizado o equipamento confortímetro Sensu®, propriedade do Laboratório de Ergonomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR (LabERGO), campus de Ponta Grossa. O equipamento foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, e possui um termômetro para o ar, um termômetro de globo negro, um anemômetro de haste quente e um medidor de umidade relativa. Além disso, o equipamento possui um tripé, o que permite utilizá-lo em diversas alturas, de acordo com a normalização existente conforme Figura 2.



**Figura 3 - Confortímetro Sensu®**  
**Fonte: Pinto (2011)**

O equipamento é programado para medir e armazenar os dados em intervalos de tempos regulares, na qual pode se observar os valores adquiridos de duas formas, em tempo real ou através de gráficos estruturados pelo mesmo.

2. Obtenção das variáveis pessoais ou subjetivas encontrados em tabelas normalizadas sendo:
  - a. Isolamento Térmico das Vestimentas ( $I_{cl}$ ), determinada através da tabela ISO 9920 (1995);
  - b. Taxa Metabólica ( $M_{\text{tabelado}}$ ), determinada em função da atividade desempenhada pelos trabalhadores através da tabela B.3 anexo B da ISO 8996 (2004).
  
3. Obtenção das variáveis subjetivas, na qual expressam a sensação e preferência térmica das pessoas com o ambiente no momento da medição sendo:
  - a. Sensação térmica real (S)
  - b. Preferência térmica (P)

As duas variáveis foram obtidas através de um questionário (Apêndice A) de percepção e preferência térmica normalizada através da ISO 10551(1995). O questionário é composto por cinco perguntas objetivas, que incluem: dados do trabalhador (idade, massa, altura e sexo), vestimentas, sensação e preferência térmica no momento da medição.

### 3.5 OPERACIONALIZAÇÃO

#### 3.5.1 Determinação dos valores das taxas metabólicas 1 e 2 conforme os dois métodos aplicados

Para efetuar as medições das variáveis ambientais (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura de globo, e umidade relativa do ar), o equipamento confortímetro Sensu® permaneceu ligado 25 minutos para sua estabilização. Após esse período o equipamento foi programado para armazenar os dados a cada 5 minutos, durante uma hora em cada setor. O posicionamento do equipamento foi de acordo com preceitos da ISO 7726 (1996), sendo posicionado na altura de 1,10m e sua localização no setor atendeu às necessidades da pesquisa e do processo produtivo.

As medições foram realizadas durante a jornada de trabalho, na qual foi entregue para cada trabalhador um questionário conforme a ISO 10551(1995) composto por cinco questões na qual inclui dados pessoais, tipos de vestimentas e perguntas referentes às sensações e preferências térmicas (Apêndice A). As perguntas foram formuladas em uma linguagem informal, a fim de possibilitar um melhor entendimento por parte dos trabalhadores.

O questionário foi aplicado em quatro momentos durante a jornada de trabalho, a saber:

**Tabela 1 - Períodos e horários das medições**

<b>Período</b>	<b>Medição</b>	<b>Horário</b>
<b>Matutino</b>	1º	09h00min às 10h00min
	2º	10h30min às 11h30min
<b>Vespertino</b>	3º	14h00min às 15h00min
	4º	16h00min às 17h00min

**Fonte: Pesquisador**

Após trinta minutos do início das medições em cada setor, eram entregues os questionários para cada trabalhador preencher totalizando 229 questionários. Na mesma ocasião foram observadas e anotadas a atividade e as roupas utilizadas com o objetivo de tabelar posteriormente a taxa metabólica e o isolamento térmico das roupas conforme a ISO 8996(2004) e 9920(1995).

Conforme o objetivo da pesquisa em obter novos valores da taxa metabólica tabelada a partir das sensações térmicas reais, visando aproximar os valores de PMV com a sensação térmica real, o estudo procedeu com a amostra de 67 medições, na qual, os procedimentos estatísticos aplicados analisaram a taxa metabólica de duas maneiras, através de análise de regressão múltipla e pela substituição dos valores de PMV pelas sensações térmicas reais na equação do balanço térmico descrita por Fanger (1970) realizada através de um software específico em concordância com a norma ISO7730 (1994) e ASHRAE (2004). Essas duas metodologias foram denominadas metodologia 1 e 2, respectivamente, conforme Figura 3.

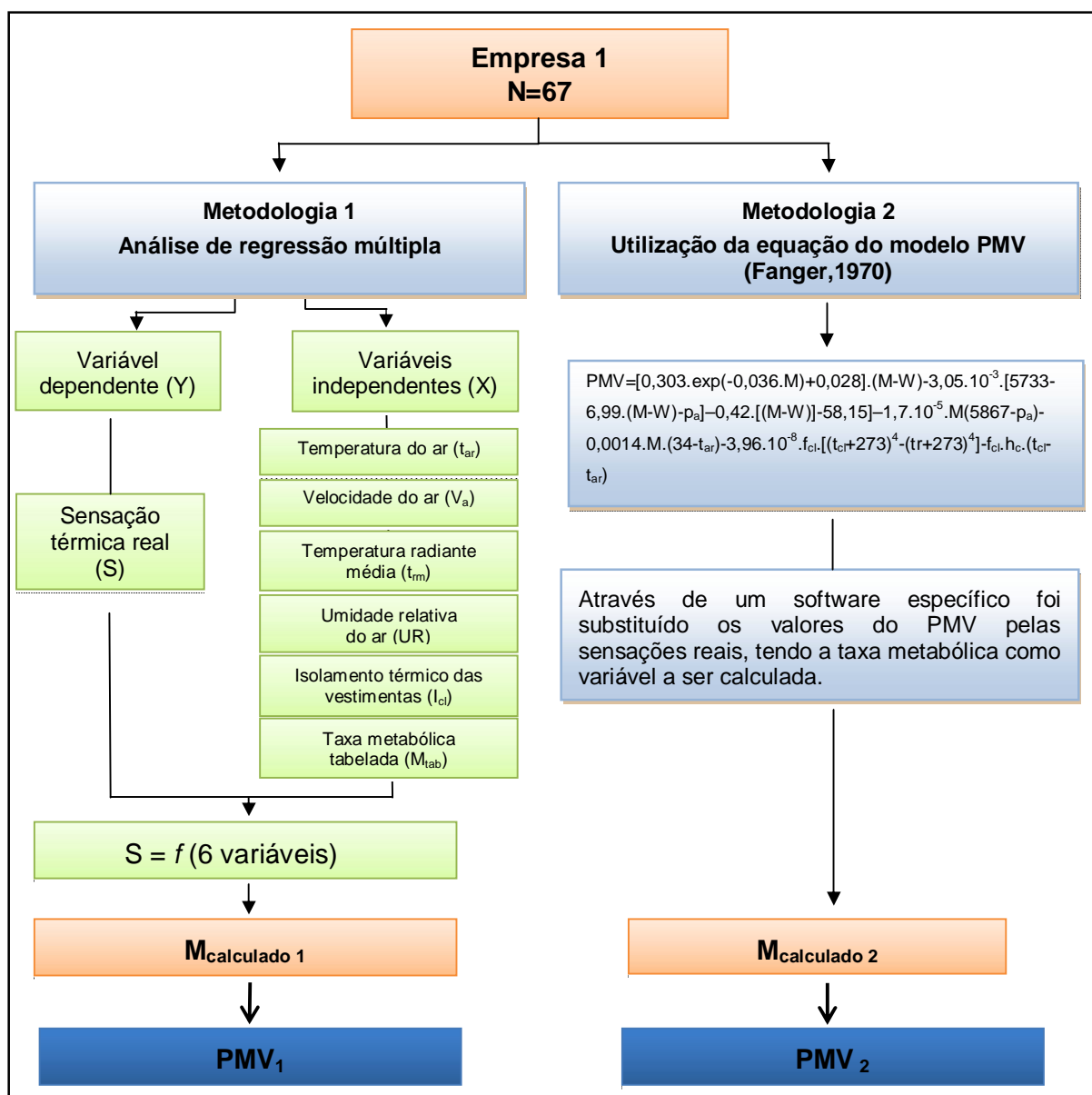


Figura 4 - Representação esquemática da metodologia 1 e 2.  
Fonte: Pesquisador

### 3.5.2 Determinação das equações de correção das taxas metabólica

Com a obtenção da Taxa metabólica calculada 1 e 2 ( $M_{calculado1}$  e  $M_{calculado2}$ ) procedeu o cálculo do PMV através de um software específico de conforto térmico utilizando os valores de taxa metabólica calculada 1 e 2 e a taxa metabólica tabelada pela ISO 8996(2004) obtendo-se assim três valores de PMV, ou seja:

- PMV calculado com a taxa metabólica tabelada pela ISO 8996(2004);

- PMV1 calculado com taxa metabólica calculada 1 ( $M_{\text{calculado1}}$ );
- PMV2 calculado com a taxa metabólica calculada 2 ( $M_{\text{calculado2}}$ );

Em seguida o estudo realizou os seguintes passos:

1. Foram realizadas três análises de regressão simples tendo a sensação térmica real (S) como variável dependente e como variáveis independentes os valores de PMV, PMV1 e PMV2.
2. Com resultado da análise de regressão simples foi obtido duas equações para correção da taxa metabólica tabelada denominadas de taxa metabólica corrigida 1 ( $M_{\text{corrigido1}}$ ) e taxa metabólica corrigida 2 ( $M_{\text{corrigido2}}$ );
3. Com os valores de ( $M_{\text{corrigido1}}$ ) e ( $M_{\text{corrigido2}}$ ) foi realizado novamente o cálculo do PMV, na qual resultou nos valores de  $PMV_{\text{corrigido1}}$  calculado com a taxa metabólica corrigida 1 e  $PMV_{\text{corrigido2}}$  obtido com os valores da taxa metabólica corrigida 2.
4. Para verificar a validade das equações da taxa metabólica corrigida 1 e 2, foi procedido o cálculo do PMV em um em conjunto de 30 medições realizada na empresa 2.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos estatísticos utilizados no presente estudo e bem como a discussão dos resultados encontrados.

A metodologia 1 utilizou a análise de regressão múltipla, na qual segundo Paulo, Dias & Corrar (2007), faz parte das técnicas de análise multivariada, pois permite analisar a relação entre uma variável dependente e duas ou mais variáveis independentes. Essa técnica permite criar condições necessárias para descrever, através de um modelo matemático, a relação entre uma variável dependente quantitativa e duas ou mais variáveis independentes quantitativas ou qualitativas.

O principal objetivo da regressão é a existência de dependência estatística de uma variável denominada dependente (prevista ou explicada), em relação a uma ou mais variáveis independentes (explanatórias ou preditoras). Normalmente a variável dependente não é passível de controle pelo pesquisador e as variáveis independentes podem ser controladas. (PAULO, DIAS & CORRAR, 2007); (BRUNI, 2008).

De acordo com o objetivo do estudo em determinar novos valores para taxa metabólica a partir da sensação térmica real, a variável dependente do presente estudo classifica-se como quantitativa discreta, pois envolve valores inteiros obtidos através das respostas de sensações térmicas reais (S) dos trabalhadores, conforme escala estabelecida por Fanger (1970).

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Levemente quente
0	Neutro
- 1	Levemente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Figura 5- Escala de sensação térmica adaptada ASHRAE (2001).

As variáveis independentes são classificadas como quantitativas contínuas, pois envolvem valores fracionados, exceto, o isolamento térmico das vestimentas e

a taxa metabólica na qual são valores inteiros encontrados em tabelas normalizadas da ISO já mencionadas anteriormente. As variáveis independentes são:

- Temperatura do Ar ( $T_a$ ), em °C;
- Temperatura Radiante Média ( $T_{rm}$ ), em °C;
- Velocidade Relativa do Ar ( $V_{ar}$ ), em m/s;
- Umidade Relativa do Ar (UR), em percentagem;
- Isolamento Térmico das Vestimentas, ( $I_{cl}$ ) em Clo;
- Taxa metabólica tabelada ( $M_{tabelada}$ ) em  $W/m^2$ ;

Com o objetivo de verificar a existência de correlação entre a variável dependente (Y) e as variáveis independentes (X), foi determinado através de um programa computacional de estatística o grau de associação entre as variáveis. Quanto maior o coeficiente de correlação, maior o grau de associação entre as variáveis e conseqüentemente maior o poder preditivo esperado do modelo. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 2 - Coeficientes de correlação linear conforme metodologia 1**

<b>Variável dependente</b>	<b>r</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>
S	0,92556175	0,85666455	<0,00000

**Fonte: Pesquisador**

O coeficiente de correlação (r) representa o grau de associação entre a variável dependente e as variáveis independentes. O coeficiente  $R^2$  é obtido elevando o valor de r ao quadrado, na qual representa o coeficiente de determinação ou poder explicativo da regressão. O coeficiente de determinação varia de -1 a +1, e quanto mais próximo desses valores, maior o grau de associação.

Neste caso, conforme a Tabela 4, o valor de  $r = 0,92$  representa alta correlação entre as variáveis em questão. O coeficiente de determinação é  $R^2 = 0,85$  representa que 85% da equação são explicadas pela variação das variáveis independentes (Y) através da reta de regressão e que os 15% permanecem não explicados.

Segundo Triola (2005) quando a reta de regressão ( $R^2$ ) indicar a existência de uma correlação linear significativa é possível obter uma equação de regressão para prever o valor de uma variável, dado o valor determinado de outra variável. Dessa forma, através de software de estatística foi realizado a análise de regressão múltipla, tendo a variável dependente (Y) e as variáveis independentes (X) conforme Figura 4:

Sumário de regressão múltipla tendo como variável dependente: S						
R= ,92556175 R <sup>2</sup> = ,85666455, R <sup>2</sup> ajustado= ,84233100						
p<0,0000						
N=67	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(60)	p-level
Intercept			-2,61482	1,037763	-2,51967	0,014427
Mtab	0,265803	0,062015	0,01934	0,004513	4,28608	0,000067
Icl	-0,144419	0,063885	-1,35179	0,597977	-2,26060	0,027425
Tar	0,279223	0,168766	0,06213	0,037551	1,65450	0,103249
Trm	0,344786	0,161127	0,06787	0,031716	2,13984	0,036444
UR	-0,099841	0,071220	-0,00764	0,005451	-1,40186	0,166109
Var	-0,035155	0,070060	-0,14259	0,284175	-0,50178	0,617657

Figura 6 - Sumário de regressão múltipla.  
Fonte: Pesquisador

A equação obtida através da análise de regressão múltipla representa a correlação entre a variável dependente (Y) e as variáveis independentes (X) sendo esta, representada pelo termo B ou intercepto de cada variável independente. A combinação linear das variáveis independentes utilizadas coletivamente para prever a variável dependente resultou na equação ou modelo de regressão [18].

$$S = 0,019M_{tab} - 1,35I_{cl} + 0,062t_{ar} + 0,068t_{rm} - 0,0076UR - 0,142V_{ar} - 2,615 \quad [18]$$

Onde:

S = Sensação térmica real, adimensional;

$M_{tab}$  = Taxa metabólica tabelada, em  $W/m^2$ ;

$I_{cl}$  = Isolamento térmico das vestimentas, em Clo;

$T_{ar}$  = Temperatura do ar, °C;

$T_{rm}$  = Temperatura Radiante Média, °C;

UR = Umidade relativa do ar, em percentagem;

$V_{ar}$  = Velocidade relativa do ar, m/s;



A equação [18] tem como variável dependente os votos de sensação térmica real (S) dos trabalhadores, dessa forma a variável S está em função das variáveis independentes (taxa metabólica tabelada, isolamento térmico das vestimentas, temperatura do ar, temperatura Radiante Média, umidade relativa do ar, e velocidade relativa do ar).

De acordo com o objetivo do estudo em determinar um fator de correção para a taxa metabólica tabelada ( $M_{tab}$ ) através da ISO8996(2004) a fim de melhorar o modelo do Voto Médio Estimado (PMV), foi procedido o isolamento da variável  $M_{tab}$  da equação [18] na qual resultou na taxa metabólica calculada 1 ( $M_{calculado1}$ ) conforme equação [19].

$$M_{calculado1} = \frac{S + 1,35I_{cl} - 0,062t_{ar} - 0,068t_{rm} + 0,0076UR + 0,142V_{ar} + 2,615}{0,019} \quad [19]$$

A equação [19] representa a taxa metabólica calculada a partir dos votos de sensação térmica real. Com os valores do  $M_{calculado1}$ , foi realizado o cálculo do PMV através de um software específico de conforto térmico obtendo assim o PMV1.

Depois de obter os valores de PMV1, o estudo também calculou a taxa metabólica a partir do modelo normalizado do PMV descrita por Fanger (1970) representada pela equação [16]. Para isso, foi necessário utilizar um software específico em concordância com a norma ISO7730 (1994) e ASHRAE (2004). O software é utilizado para calcular o índice PMV, na qual representa as sensações térmicas médias das pessoas sobre determinadas condições ambientais e individuais. No presente estudo, foi substituído os valores do PMV pelas sensações térmicas reais (S), tendo a taxa metabólica como variável a ser calculada, obtendo a taxa metabólica calculada 2 ( $M_{calculado2}$ ).

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M(5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_{ar}) - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_{ar}) \quad [16]$$

Onde:

PMV = Voto médio estimado, ou sensação de conforto;

$M$  = Taxa metabólica, em  $W/m^2$ ;

$W$  = Trabalho mecânico, em  $W/m^2$ , sendo nulo para a maioria das atividades;

$I_{cl}$  = Resistência térmica das roupas, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ;

$f_{cl}$  = Razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nu;

$t_{ar}$  = Temperatura do ar, em  $^\circ C$ ;

$t_{rm}$  = Temperatura radiante média, em  $^\circ C$ ;

$v_{ar}$  = Velocidade relativa do ar, em  $m/s$ ;

$p_a$  = Pressão parcial do vapor de água, em  $Pa$ ;

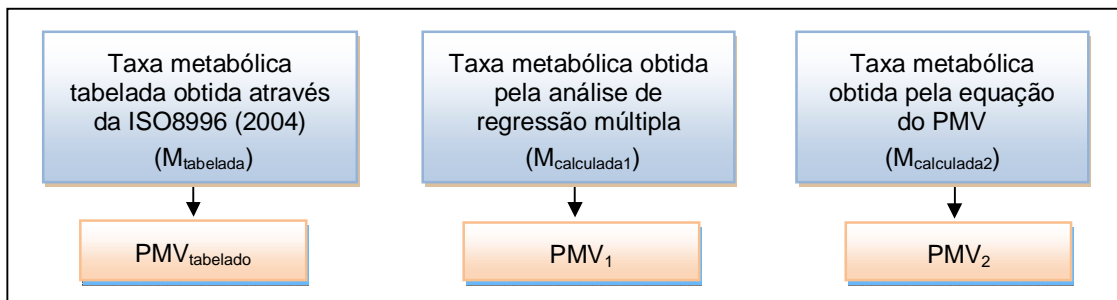
$h_c$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$t_{cl}$  = Temperatura superficial das roupas,

Com valores da taxa metabólica calculada 1 ( $M_{calculado1}$ ), taxa metabólica calculada 2 ( $M_{calculado2}$ ) e a taxa metabólica tabelada pela ISO8996(2004), ( $M_{tabelado}$ ), foi obtido três valores de PMV sendo:

- a) PMV obtido utilizando a taxa metabólica tabelada  $M_{tabelado}$ ;
- b) PMV1 utilizando os valores de  $M_{calculado1}$ ;
- c) PMV2 com os valores do  $M_{calculado2}$ .

A figura 5 representa os três valores obtidos de PMV conforme a taxa metabólica, ou seja, taxa metabólica tabelada resultou nos valores de PMV tabelado, a taxa metabólica calculada 1, resultou no PMV1 e a taxa metabólica calculada 2 no PMV2.



**Figura 7 – Representação dos valores obtidos do PMV conforme a taxa metabólica.**  
**Fonte: Pesquisador**

A tabela 5 apresenta os valores médios das variáveis ambientais ( $T_{ar}$ = Temperatura do ar;  $V_{ar}$ =Velocidade do ar;  $T_{rm}$ = Temperatura radiante média;  $UR$ = Umidade relativa do ar); variáveis pessoais ( $I_{cl}$ = Isolamento térmico das vestimentas;  $M_{tab}$ = Taxa metabólica tabelada; Taxa metabólica calculada 1 ( $M_{cal1}$ ), Taxa metabólica calculada 2 ( $M_{cal2}$ ); variável subjetiva ( $S$ = sensação térmica real); bem como os valores de PMV, PMV 1 e PMV2.

**Tabela 3 - Valores médios das 67 medições referente as variáveis ambientais, pessoais e subjetivos.**

Nº.	$T_{ar}$ (°C)	$V_{ar}$ (m/s)	$T_{rm}$ (°C)	$UR$ (%)	$I_{cl}$ Clo	$S$	$M_{tab}$ W/m <sup>2</sup>	$M_{cal1}$ W/m <sup>2</sup>	$M_{cal2}$ W/m <sup>2</sup>	PMV tab	PMV1	PMV2
1	18,97	0,28	19,02	85,42	1,17	-0,67	105,00	91,65	64	0,4	0,2	-0,60
2	18,93	0,42	19,11	85,66	1,13	0,27	129,00	138,84	105	0,7	0,9	0,30
3	19,26	0,42	19,55	87,83	1,09	0,33	123,00	137,72	105	0,7	0,9	0,30
4	20,19	0,49	20,62	77,95	1,03	0,53	132,00	133,75	110	0,9	0,9	0,50
5	14,42	0,42	15,37	76,60	1,23	-1,00	108,75	104,30	78	-0,1	-0,2	-1,00
6	15,62	0,46	16,52	68,90	1,23	-0,75	112,50	106,65	80	0,0	0,0	-0,70
7	17,59	0,45	18,40	60,03	1,05	0,50	126,88	142,29	135	0,3	0,6	0,50
8	17,59	0,48	18,01	60,65	1,01	1,38	135,63	187,60	190	0,4	1,3	1,40
9	19,04	0,62	23,15	55,00	1,07	0,33	126,67	112,85	120	0,6	0,4	0,30
10	21,17	0,63	25,36	46,97	1,02	0,83	126,67	117,60	120	0,9	0,7	0,80
11	23,49	0,58	27,16	44,83	0,97	2,33	105,83	177,75	190	0,9	2,0	2,30
12	27,56	0,83	30,86	39,12	0,92	2,83	143,33	173,61	190	2,0	2,5	2,80
13	21,40	0,63	24,54	65,00	1,12	1,20	127,00	153,42	135	1,0	1,5	1,20
14	23,22	0,54	26,14	57,89	1,12	1,80	120,00	169,83	160	1,2	2,0	1,80
15	22,15	0,69	27,35	59,10	1,09	1,20	105,00	136,92	130	0,8	1,3	1,20
16	25,46	0,86	28,14	56,28	0,97	1,60	131,00	135,89	131	1,6	1,6	1,60
17	19,10	0,36	19,23	60,10	0,92	0,29	122,14	113,64	122	0,3	0,2	0,30
18	19,19	0,40	19,26	50,63	0,92	0,57	127,14	124,77	135	0,4	0,4	0,60
19	20,99	0,49	21,13	69,42	0,88	1,29	136,43	154,93	160	0,8	1,2	1,30
20	23,20	0,47	23,48	65,15	0,88	1,86	139,29	167,55	170	1,3	1,7	1,80
21	17,45	0,39	17,48	60,47	1,15	-0,38	112,50	106,86	85	0,2	0,1	-0,40
22	22,06	0,54	22,62	52,40	1,08	1,50	150,00	165,08	160	1,4	1,6	1,50
23	22,70	0,55	23,22	53,98	0,98	1,38	146,25	148,34	146	1,3	1,4	1,30
24	23,44	0,78	23,54	60,34	0,98	0,63	127,50	109,59	100	1,1	0,8	0,60
25	15,30	0,46	15,91	62,00	1,21	-1,29	106,07	77,37	70	-0,1	-1,0	-1,30
26	17,04	0,59	18,33	56,96	1,18	0,07	127,50	130,87	110	0,4	0,4	0,10
27	19,99	0,65	23,10	49,49	1,04	0,57	123,46	118,70	120	0,6	0,5	0,60
28	20,50	0,73	22,65	48,89	1,00	1,07	152,14	141,85	148	1,1	0,9	1,00
29	13,10	0,53	14,18	70,00	1,22	-1,43	111,43	87,49	78	-0,3	-1,0	-1,40
30	17,15	0,59	18,50	61,56	1,26	-0,43	126,43	111,52	80	0,5	0,2	-0,50
31	19,87	0,94	23,18	65,58	1,19	1,43	145,71	182,81	160	1,1	1,7	1,40
32	21,28	1,02	25,10	67,89	1,12	1,43	152,14	167,82	152	1,4	1,7	1,40
33	21,90	0,66	25,76	51,00	0,90	1,67	136,67	150,62	170	1,1	1,3	1,60
34	26,57	1,63	27,89	47,09	0,90	2,00	141,67	151,55	160	1,7	1,9	2,00
35	20,10	1,24	23,15	59,00	0,90	1,00	131,00	138,60	155	0,5	0,7	1,00
36	24,98	0,79	27,78	44,31	0,90	2,00	139,00	149,55	165	1,5	1,7	2,00
37	30,01	0,82	33,80	32,89	0,83	2,80	115,00	144,33	170	2,0	2,4	2,80
38	32,16	0,83	34,50	32,43	0,97	2,20	141,00	113,12	80	2,7	2,4	2,20
39	18,80	0,68	18,12	55,00	0,93	0,14	128,57	111,87	120	0,3	0,0	0,10

40	24,03	0,47	24,37	48,95	0,89	1,14	135,00	118,58	125	1,3	1,0	1,10
41	28,90	0,71	30,12	54,44	0,89	2,57	153,57	161,25	160	2,4	2,5	2,50
42	29,43	0,83	30,53	36,75	0,89	2,29	153,57	136,86	145	2,4	2,1	2,20
43	18,00	0,41	18,55	65,00	0,94	0,75	130,00	147,52	150	0,3	0,7	0,70
44	26,17	0,69	26,62	46,09	0,94	1,75	140,38	139,09	140	1,7	1,7	1,70
45	31,15	1,23	32,53	28,97	0,94	2,63	155,63	144,93	150	2,7	2,5	2,60
46	30,82	0,99	31,42	32,69	0,94	2,00	145,63	116,74	110	2,4	2,1	2,00
47	18,92	0,50	24,54	80,53	0,94	0,29	122,14	106,07	100	0,6	0,3	0,20
48	19,37	0,50	24,54	79,32	0,94	0,21	117,86	99,90	100	0,6	0,2	0,20
49	21,19	0,49	24,54	75,66	0,99	0,79	130,71	126,51	115	1,1	1,0	0,70
50	22,85	0,49	24,54	64,51	0,97	0,79	132,86	115,21	110	1,2	0,9	0,80
51	17,44	0,60	18,85	82,80	1,06	0,00	112,50	126,18	110	0,1	0,4	0,00
52	20,16	0,70	22,46	72,47	0,96	0,50	127,50	120,21	115	0,7	0,6	0,50
53	24,07	0,88	28,48	53,72	1,00	1,63	150,00	142,07	140	1,7	1,6	1,60
54	26,49	0,82	28,71	47,16	1,00	2,00	157,50	149,75	150	2,1	2,0	2,00
55	23,02	0,98	27,45	61,96	0,85	1,33	128,33	126,77	140	1,1	1,0	1,30
56	28,37	1,01	32,18	47,74	0,81	2,17	122,00	128,12	140	1,9	2,0	2,10
57	32,42	1,25	36,43	29,79	0,77	2,83	118,33	126,37	140	2,5	2,6	2,80
58	23,05	1,05	29,11	58,64	0,86	1,40	129,00	124,33	145	1,1	1,4	1,40
59	30,57	1,25	36,36	38,37	0,80	2,20	135,00	105,07	110	2,5	2,1	2,20
60	24,39	0,50	24,51	68,97	1,00	0,44	124,44	95,86	70	1,3	0,9	0,40
61	26,90	0,63	27,74	60,34	0,96	1,78	132,22	141,31	125	1,8	1,6	1,70
62	29,13	0,91	30,33	53,04	1,00	2,89	162,22	185,20	175	2,6	2,7	2,80
63	29,53	0,87	30,18	50,09	1,00	2,78	162,22	177,16	170	2,6	2,8	2,70
64	23,08	0,48	30,67	66,75	1,01	0,71	129,29	91,97	75	1,5	1,7	0,70
65	26,13	0,60	27,14	60,95	1,01	1,86	140,71	153,75	140	1,8	2,0	1,80
66	29,94	0,84	31,49	53,97	1,01	2,71	157,86	169,49	160	2,7	2,8	2,70
67	29,62	0,83	30,67	54,43	1,01	1,71	140,00	120,95	75	2,4	2,1	1,70

Fonte: Pesquisador

**Legenda:** N°.= número das medições; T<sub>ar</sub>= Temperatura do ar; V<sub>ar</sub>=Velocidade do ar; T<sub>rm</sub>= Temperatura radiante média; UR= Umidade relativa do ar; Icl= Isolamento térmico das vestimentas; S= sensação térmica real; M<sub>tab</sub>= Taxa metabólica tabelada; M<sub>cal1</sub>= Taxa metabólica calculada 1; M<sub>cal2</sub> = Taxa metabólica calculada 2; PMV<sub>tab</sub>= PMV calculado com valores M<sub>tab</sub>; PMV1 = PMV calculado com M<sub>cal1</sub>; PMV2= PMV calculado com M<sub>cal2</sub>.

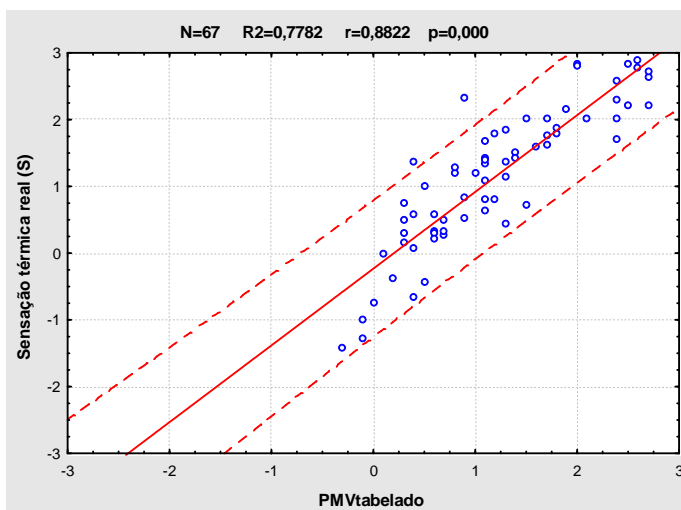
Conforme os valores da tabela 5 pode-se observar que ocorreu discrepância entre os valores de PMV/tabelado, PMV1 e PMV2, como por exemplo a medição de número 29. Para PMV<sub>tab</sub> = -0,3; PMV1= -1 e PMV2= -1,40. Esses resultados podem estar relacionados aos votos de sensações térmicas reais, pois envolvem interpretações subjetivas ou pessoais, obtidas a partir da percepção individual de cada trabalhador. Pesquisas De Dear & Brager (2002) indicam que os fatores subjetivos como aceitabilidade e satisfação térmica responsáveis pelas diferenças encontradas entre os votos de sensação térmica e os votos médios preditos calculados pelo modelo Fanger.

Para verificar qual dos valores de taxa metabólica aproximou o modelo PMV com sensação térmica real foi realizado análise de regressão simples tendo a sensação térmica real (S) como variável dependente e como variável independente:

- PMV obtido através da taxa metabólica tabelada ( $M_{\text{tabelado}}$ );
- PMV 1 obtido através da taxa metabólica calculada 1 ( $M_{\text{calculado1}}$ );
- PMV 2 obtido através da taxa metabólica calculada 2 ( $M_{\text{calculado2}}$ );

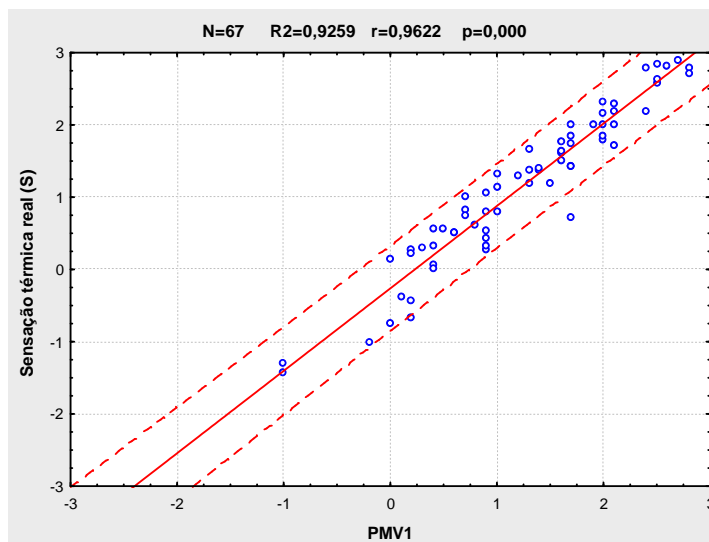
A correlação gráfica entre as análises de regressão estão representadas nos Gráficos 1,2 e 3.

O Gráfico 1 apresenta a ocorrência de 77% ( $R^2=0,77$ ) de correlação entre a sensação térmica real com os valores do PMV obtidos através da taxa metabólica tabelada.



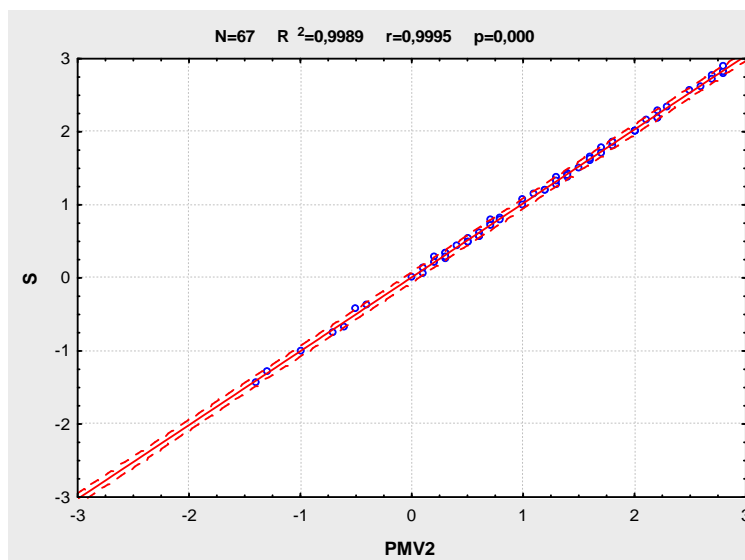
**Gráfico 1 - Correlação entre a Sensação térmica real e o PMV tabelado.**  
**Fonte: Pesquisador**

O gráfico 2, representa correlação de 92% ( $R^2= 0,92$ ) entre a sensação térmica real e o PMV 1 obtido através do modelo de análise de regressão múltipla (Metodologia 1).



**Gráfico 2 - Correlação entre a Sensação térmica real e o PMV1.**  
Fonte: Pesquisador

No Gráfico 3, foi observada maior correlação entre a sensação térmica real e o PMV2, obtido através da equação de Fanger. A análise de regressão mostrou o coeficiente de determinação com valor de 99% ( $R^2 = 0,99$ ) e coeficiente de correlação  $r=0,99$ , o que indica uma relação significativa com as sensações térmicas reais, e que denota um bom ajuste do modelo PMV.



**Gráfico 3 - Correlação entre a Sensação térmica real e o PMV2**  
Fonte: Pesquisador

Conforme tabela 6, podem ser observados os coeficientes de determinação, e correlação do gráfico 1, 2 e 3.

**Tabela 4 - Coeficientes da regressão entre Sensação térmica real (S) e valores de PMV.**

	<b>Variáveis independentes</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>r</b>
<b>Variável dependente S</b>	PMVtab	0,77820651	0,88216014
	PMV1	0,92592153	0,96224817
	PMV2	0,99894149	0,99947061

**Fonte: Pesquisador**

Dessa forma, conforme Tabela 6, os valores dos coeficientes de determinação  $R^2=0,96$  para PMV1 e  $R^2=0,99$  para PMV2 ficaram muito próximos. Dessa forma, para obter uma equação de ajuste para a taxa metabólica tabelada, aplicou-se análise de regressão simples de duas maneiras, primeiramente tendo como variável dependente o  $M_{calculado1}$  e variável independente  $M_{tabelado}$ , e em seguida análise de regressão simples sendo o  $M_{calculado2}$  a variável dependente e o  $M_{tabelado}$  variável independente.

Na Figura 7 e 8, pode ser observado o sumário da regressão com a variável dependente a taxa metabólica calculada 1 (Figura 7) e a taxa metabólica calculada 2 (Figura 8) com a variável independente a taxa metabólica tabelada para ambas as regressões.

Sumário de regressão linear simples. Variável dependente: <b>Mcal1</b> (67 medições) R <sup>2</sup> = ,33053173; r= ,57491889; R <sup>2</sup> ajustado= ,32023222						
N=67	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(65)	p-level
Intercept			-0,364625	23,88220	-0,015268	0,987865
Mtab	0,574919	0,101487	1,018927	0,17986	5,664978	0,000000

**Figura 8 - Sumário de regressão simples com variável dependente Mcalculado1 e independente Mtabelado.**

Fonte: Software de estatística

Sumário de regressão linear simples. Variável dependente: <b>Mcal2</b> (67 medições) R <sup>2</sup> = 0,25254027; r= 0,50253385; R <sup>2</sup> ajustado= 0,24104089						
N=67	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(65)	p-level
Intercept			-20,5076	32,09566	-0,638954	0,525098
Mtab	0,502534	0,107235	1,1328	0,24172	4,686279	0,000015

**Figura 9 - Sumário de regressão múltipla com variável dependente Mcalculado2 e variável independente Mtabelado.**

Fonte: Software de estatística

Os modelos de regressão linear simples resultaram nas equações [20] e [21] da taxa metabólica corrigida 1 ( $M_{\text{corrigido1}}$ ), obtidas através da análise de regressão múltipla conforme metodologia 1, e taxa metabólica corrigida 2 ( $M_{\text{corrigido2}}$ ) de acordo com a metodologia 2, obtida pela equação do balanço térmico, ambas descritas respectivamente:

$$M_{\text{corrigido1}} = 1,019M_{\text{tab}} - 0,365 \quad [20]$$

$$M_{\text{corrigido2}} = 1,133M_{\text{tab}} - 20,51 \quad [21]$$

Sendo:

$M_{\text{corrigido1}}$ : Taxa metabólica corrigida 1 em  $W/m^2$ ;

$M_{\text{corrigido2}}$ : Taxa metabólica corrigida 2 em  $W/m^2$ ;

$M_{\text{tab}}$  = Taxa metabólica tabelada, em  $W/m^2$ .

Com o objetivo de verificar a validade das equações da taxa metabólica corrigida de acordo com as equações [20] e [21], foi utilizado um banco de dados composto de 30 medições realizadas em uma indústria metalúrgica no mês de outubro 2011 conforme descrito no capítulo 3. Os valores calculados estão expostos na tabela 7.



**Tabela 5 – Valores médio das 30 medições referente as variáveis ambientais, pessoais e subjetivas coletas na empresa 2.**

N <sup>o</sup> .	T <sub>ar</sub> (°C)	V <sub>ar</sub> (m/s)	T <sub>rm</sub> (°C)	UR (%)	S	Icl Clo	M <sub>tab</sub> W/m <sup>2</sup>	M <sub>corrig1</sub> W/m <sup>2</sup>	M <sub>corrig2</sub> W/m <sup>2</sup>	PMV <sub>tab</sub>	PMV <sub>corrig1</sub>	PMV <sub>corrig2</sub>
1.	25,3	0,08	26,8	65,7	2,57	0,64	185	188,15	189,10	2,60	2,60	2,70
2.	30,03	0,11	30,0	53,6	2,67	0,60	140	142,30	138,11	2,30	2,40	2,30
3.	29,82	0,09	32,4	49,5	2,70	0,56	140	142,30	138,11	2,50	2,50	2,50
4.	24,10	0,10	24,8	71,2	2,63	0,57	120	121,92	115,45	0,80	1,20	0,80
5.	23,97	0,02	24,0	76,3	1,44	0,62	160	162,68	160,77	1,80	1,90	1,80
6.	25,40	0,08	25,9	72,9	1,83	0,65	160	162,68	160,77	2,10	2,10	2,10
7.	27,47	0,03	27,8	62,9	2,50	0,59	160	162,68	160,77	2,40	2,40	2,40
8.	29,52	0,04	29,8	52,9	2,00	0,53	140	142,30	138,11	2,30	2,30	2,30
9.	28,11	0,10	19,7	58,8	1,75	0,53	160	162,68	160,77	1,70	1,80	1,70
10.	21,72	0,02	21,7	88,2	1,10	0,64	140	142,30	138,11	1,10	1,20	1,10
11.	21,32	0,03	21,0	97,4	0,40	0,61	120	121,92	115,45	0,30	0,70	0,60
12.	21,45	0,08	21,5	93,6	0,40	0,60	160	162,68	160,77	1,40	1,50	1,50
13.	21,13	0,20	20,8	88,7	1,81	0,61	160	162,68	160,77	1,30	1,20	1,20
14.	23,81	0,27	24,8	75,6	0,50	0,68	185	188,15	189,10	2,20	2,20	2,20
15.	19,72	0,02	19,4	43,1	1,33	0,59	160	162,68	160,77	0,90	1,00	0,90
16.	24,58	0,09	26,0	70,7	1,60	0,53	140	142,30	138,11	1,60	1,60	1,60
17.	28,51	0,06	29,1	42,4	2,57	0,58	160	162,68	160,77	2,40	2,40	2,40
18.	29,82	0,07	30,4	50,2	1,87	0,58	140	142,30	138,11	2,30	2,40	2,30
19.	18,25	0,07	18,2	69,8	1,14	0,62	160	162,68	160,77	0,80	0,90	0,80
20.	22,85	0,03	24,0	50,2	1,50	0,59	120	121,92	115,45	0,50	0,90	0,80
21.	28,03	0,16	29,6	37,2	1,62	0,61	160	162,68	160,77	2,30	2,30	2,30
22.	23,43	0,05	23,1	48,3	1,66	0,56	160	162,68	160,77	1,50	1,60	1,50
23.	19,70	0,01	19,7	62,9	1,00	0,56	140	142,30	138,11	0,60	0,60	0,60
24.	21,23	0,01	21,3	58,6	1,00	0,57	160	162,68	160,77	1,20	1,30	1,20
25.	26,53	0,05	27,6	39,7	1,00	0,61	185	188,15	189,10	2,50	2,60	2,60
26.	27,19	0,05	29,4	40,6	2,25	0,53	140	142,30	138,11	2,00	2,00	1,90
27.	19,90	0,02	18,2	59,8	1,14	0,62	160	162,68	160,77	1,00	1,00	1,00
28.	23,42	0,05	21,7	49,2	2,00	0,63	160	162,68	160,77	1,50	1,50	1,50
29.	29,12	0,11	30,5	35,6	2,25	0,61	120	121,92	115,45	1,70	1,90	1,90
30.	23,42	0,05	26,0	49,2	2,54	0,55	160	162,68	160,77	1,70	1,80	1,70

Fonte: Pesquisador

**Legenda:** N<sup>o</sup>.= número das medições; T<sub>ar</sub>= Temperatura do ar; V<sub>ar</sub>=Velocidade do ar; T<sub>rm</sub>= Temperatura radiante média; UR= Umidade relativa do ar; S=sensação térmica real; Icl= Isolamento térmico das vestimentas M<sub>tab</sub>= Taxa metabólica tabelada; M<sub>corrig1</sub> = Taxa metabólica corrigida 1; M<sub>corrig2</sub> = Taxa metabólica corrigida 2; PMV<sub>tab</sub>= PMV calculado com M<sub>tab</sub>; PMV<sub>corrig1</sub>=PMV calculado com M<sub>corrig1</sub>; PMV<sub>corrig2</sub> = PMV calculado com M<sub>corrig2</sub>.

A tabela 7 apresenta os valores médios das variáveis ambientais, a saber: temperatura do ar (T<sub>ar</sub>); velocidade do ar (V<sub>ar</sub>); temperatura radiante média (T<sub>rm</sub>); umidade relativa do ar (UR). Variável subjetiva os votos de sensação térmica real (S), e as variáveis pessoais, taxa metabólica tabelada (M<sub>tab</sub>) e isolamento térmico das vestimentas (Icl) obtidas através das normas ISO8996(2004) e ISO9920 (1995) respectivamente. As variáveis corrigidas, incluem a taxa metabólica corrigida 1

( $M_{\text{corrig1}}$ ) obtida através da equação [20], taxa metabólica corrigida 2 ( $M_{\text{corrig2}}$ ) obtida através da equação [21].

Através de um programa computacional, foram calculados três valores de PMV, sendo, PMV tabelado ( $PMV_{\text{tab}}$ ), calculado com os valores da taxa metabólica tabelada pela ISO8996(2004), o PMV corrigido 1 ( $PMV_{\text{corrig1}}$ ), calculado com os valores da taxa metabólica corrigida 1 ( $M_{\text{corrig1}}$ ), e o PMV corrigido 2 ( $PMV_{\text{corrig2}}$ ) calculado com os valores da taxa metabólica corrigida 2.

Os índices de PMV tabelado e PMV corrigido 1 e PMV corrigido 2 foram comparados com os votos de sensação de conforto térmico relatada pelos trabalhadores através de análises de regressão linear simples como pode ser observado na tabela 8.

**Tabela 6 - Coeficientes da regressão entre Sensação térmica real (S) e valores de PMV tabelado, PMV1 e PMV2.**

	<b>Variáveis independentes</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R</b>
<b>Variável dependente S</b>	PMV tabelado	0,24787740	0,49787287
	PMV corrigido 1	0,26737461	0,51708279
	PMV corrigido 2	0,11397281	0,33759860

**Fonte: Pesquisador**

Conforme tabela 8, os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o PMV tabelado foi de 0,25, e para os valores de PMV corrigido 1, 0,26 e para o PMV corrigido 2, 0,11. Isso demonstra que não houve aproximação do modelo do PMV com os votos de sensação térmica real, ou seja, não houve correlação entre as sensações térmicas relatadas pelos trabalhadores com os valores de PMV tabelado e corrigidos.

Esses valores podem estar relacionados a grande dificuldade existente nas pesquisas de campo em caracterizar com precisão a atividade desempenhada pelo trabalhador. Neste caso, se não ocorre a perfeita caracterização da taxa metabólica, conseqüentemente as equações de correção partirão de valores incorretos, e este fato também levará a valores inexatos de aderência do modelo PMV. Tal fato, já foi citado por autores que afirmam a dificuldade da correta identificação da taxa metabólica entre eles, Howell & Stramler, (1981), Humphreys e Nicol (1996), Vergara & Lamberts (2001) e Katavoutas, Flocas & Theoharatos (2009).

Isto significa que as taxas metabólicas dos trabalhadores podem diferir sensivelmente, desde uma atividade que envolve pequenos esforços físicos a grandes movimentações, o que torna difícil estimá-las, através de tabelas normalizadas. Portanto, pode-se dizer que a estimativa tabelada de taxas metabólicas consiste em um dos fatores de imprecisão de grande influência nas diferenças obtidas entre os valores de sensações térmicas analíticas (PMV) e subjetivas (Sensações) de conforto do presente estudo.

A partir de tais constatações, e considerando que os valores dos coeficientes de determinação do PMV corrigido 1 e PMV corrigido 2 se apresentaram praticamente equivalentes (Tabela 8), a presente pesquisa calculou o percentual de diferença entre os valores da taxa metabólica corrigida 1 e taxa metabólica corrigida 2 com os valores da taxa metabólica tabelada pela ISO8996(2004), conforme Tabela 9.

**Tabela 7 - Valores da taxa metabólica tabelada, corrigida 1 e 2 e o percentual de diferença da taxa metabólica corrigida 1 e 2 com a taxa metabólica tabelada.**

Nº	Mtab	Mcorrigido1	Mcorrigido2	%diferença 1	%diferença 2
1.	185	188,15	189,10	1,703	2,215
2.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
3.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
4.	120	121,92	115,45	1,596	-3,790
5.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
6.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
7.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
8.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
9.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
10.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
11.	120	121,92	115,45	1,596	-3,790
12.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
13.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
14.	185	188,15	189,10	1,703	2,215
15.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
16.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
17.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
18.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
19.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
20.	120	121,92	115,45	1,596	-3,790
21.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
22.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
23.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
24.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
25.	185	188,15	189,10	1,703	2,215
26.	140	142,30	138,11	1,639	-1,348
27.	160	162,68	160,77	1,672	0,483

28.	160	162,68	160,77	1,672	0,483
29.	120	121,92	115,45	1,596	-3,790
30.	160	162,68	160,77	1,672	0,483

Fonte: Pesquisador

Pode-se considerar a partir da Tabela 9, que o percentual de diferença entre o  $M_{\text{tabelado}}$  e o  $M_{\text{corrigido1}}$  é na ordem de 1,66% a mais que os valores da taxa metabólica tabelada. Já o percentual de diferença do  $M_{\text{corrigido2}}$  é de - 0,40% em relação a taxa metabólica tabelada. Isso representa que a taxa metabólica tabelada pela ISO 8996(2004) respondeu bem ao modelo do PMV para esse conjunto de 30 dados, pois a correção não se mostrou significativa.

Pode-se observar na tabela 9, nas medições grifadas que o percentual de diferença 1 e 2 apresentou uma importante amplitude dos valores como por exemplo na medição 4, o percentual de diferença 1 = 1,596 e para diferença 2 = -3,790. Tal resultado pode estar relacionado a subjetividade dos votos de sensação térmica dos trabalhadores, na qual exerce forte influência nos resultados encontrados, uma vez que envolve fenômenos psicológicos e não somente fenômenos subjetivos.

Diante da subjetividade dos votos de sensação térmica dos trabalhadores, outro fator que pode justificar essa discrepância, envolve a adaptação comportamental, ou seja, quando ocorrem mudanças ambientais causando desconforto térmico, as pessoas reagem de forma que seu conforto térmico seja restabelecido, isso é decorrente a adaptação comportamental que pode ser entendida como pessoal, técnica, ambiental, cultural e organizacional (HOPPE, 2002).

Além disso, as variáveis individuais e fisiológicas que estão envolvidas no metabolismo humano interferem de maneira importante na determinação da taxa metabólica e conseqüentemente na resposta dos trabalhadores em relação ao ambiente térmico. Alguns desses fatores apontados por Gayton & Hall (2002); Vergara (2001), idade, condição muscular, alimentação, disfunções hormonais entre outras. Em relação a idade, pesquisa realizada por Rohles (2007), descreve que para voluntários com média de idade de 20 anos a temperatura de conforto preferida foi de 22°C, enquanto para a média de 44 anos ela foi de 23°C e para 75 anos, 24°C.

Além desses fatores, o isolamento térmico das vestimentas é apontando como um importante fator que pode levar a imprecisão do índice PMV entre esses estudos incluem, Rohles (1980), Ong (1995) e Dear e Brager (1998).

## 4 CONCLUSÕES

Após os resultados apresentados no presente estudo podem-se considerar:

Conforme o primeiro objetivo específico em determinar equações de correções para as taxas metabólicas a partir das sensações térmicas reais de trabalhadores do setor metalúrgico considera-se que:

A partir de um conjunto de 67 dados realizados na empresa 1, foram corrigidos os valores da taxa metabólica tabelada de duas maneiras. Primeiramente através da análise de regressão múltipla na qual foi obtido os valores da taxa metabólica calculada 1 ( $M_{\text{calculado1}}$ ) e por segundo, pela substituição dos valores de PMV pelas sensações térmicas reais na equação do balanço térmico resultando nos valores para taxa metabólica calculada 2 ( $M_{\text{calculado2}}$ ). Com esses valores, foi calculado o índice PMV, obtendo o PMV1 e PMV2. Para esse conjunto de dados, a taxa metabólica calculada apresentou boa correlação com a sensação térmica real com os respectivos valores: PMV tabelado ( $R^2=0,77$ ), PMV 1 ( $R^2=0,92$ ), e PMV2 ( $R^2=0,99$ ). Isso demonstra que o modelo do PMV para esse conjunto de dados respondeu muito bem tanto para o PMV tabelado como para o PMV 1 e PMV2.

O segundo objetivo específico da pesquisa foi calcular a taxa metabólica a partir da equação de correção em um novo banco de dados, e o terceiro, estimar a sensação de conforto térmico através do modelo PMV utilizando os valores das taxas metabólicas corrigidas.

Para esses dois objetivos, ao aplicar as equações da taxa metabólica corrigida 1 e 2 em um conjunto de 30 medições do mesmo setor industrial, os valores dos coeficientes de regressão para PMV tabelado foi ( $R^2=0,24\%$ ), para PMV corrigido 1 ( $R^2=0,26\%$ ) e para PMV corrigido 2 ( $R^2=0,11\%$ ). Com esses resultados foi constatado que o modelo do PMV, bem como a taxa metabólica tabelada não responderam bem as sensações térmicas dos trabalhadores.

Tal resultado pode estar relacionado a subjetividade dos votos de sensação térmica dos trabalhadores, na qual exerce forte influência nos resultados encontrados, uma vez que envolve fenômenos psicológicos, e não somente fenômenos subjetivos. Nesse sentido, Dear e Brager (2002) afirmam que os

aspectos psicológicos desempenham papel importante tanto na resposta dos trabalhadores em relação ao conforto térmico interno como no externo.

Já o quarto objetivo específico, em avaliar a adequabilidade do modelo de conforto térmico proposto por Fanger, através da taxa metabólica calculada a partir das sensações térmicas reais, constatou-se que a taxa metabólica calculada não respondeu bem as sensações térmicas dos trabalhadores.

Tais resultados podem ser atribuídos devido a erros sistemáticos ou randômicos, porém devem ser consideradas as incertezas na estimação das taxas metabólicas e do isolamento das vestimentas, e às possíveis influências psicológicas ou sociológicas no ambiente de trabalho, como por exemplo, o trabalho em turnos, o estresse, a motivação e a expectativa dos trabalhadores, fatores que podem afetar suas respostas para o ambiente térmico.

Por fim, tendo em vista o objetivo principal da pesquisa em verificar a existência da melhoria de aderência no modelo normalizado de conforto térmico, utilizando a taxa metabólica determinada pelas sensações térmicas reais de usuários de ambientes industriais considera-se que o mesmo não respondeu bem as sensações térmicas dos trabalhadores.

Para este estudo, em um conjunto de 30 medições, a correção da taxa metabólica efetuada de duas maneiras, seja, pela análise de regressão múltipla e pela equação do PMV, levando em consideração a sensação térmica real dos trabalhadores, os valores da taxa metabólica tabelada pela ISO8996(2004) não apresentaram boa precisão, quando comparadas os valores do PMV e a sensação térmica real. Porém, através deste estudo, pode – se considerar que se o objetivo for promover uma correção na taxa metabólica tabelada, deve-se aplicar sobre a mesma um percentual de acréscimo de 1,66% sobre a taxa metabólica tabelada.

## REFERÊNCIAS

ALFANO, F.R.; PALELLA, I.B; RICCIO, G. **The role of measurement accuracy on the thermal environment assessment by means of PMV index.** Building and Environment, n.46, pg. 1361-1369, 2011.

ALMEIDA, H.S. **Análise do conforto térmico de edifícios utilizando a abordagem analítica e adaptativa.** 192 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

ANDREASI, A.W. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil.** 204 fls. Tese (Doutorado em Engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ANSI/ASHRAE Standard. **Thermal environment conditions for human occupancy.** Atlanta: 55-2004.

ARAÚJO, V.M.D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro.** 189 fls. Tese (Doutorado em Engenharia civil) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1996.

ASHRAE Standard 55-2004 - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. - **Thermal environmental conditions for human occupancy.** Atlanta. USA.

ASHRAE. Fundamentals. American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers, cap. 8: **Thermal comfort**, Atlanta, 1997.

BARBIERO, M. **Avaliação das percepções quanto ao ambiente térmico em uma indústria metalúrgica: Um estudo de caso.** 140 fls. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

BARLOW, S; FIALA, D. **Occupant comfort in UK offices - How adap-tive comfort theories might influence future low energy office refurbishment strategies.** Energy and Buildings.v. 39 p. 837-846. 2007.

BECKER, R. PACIUK, M. **Thermal comfort in residential buildings – Failure to predict by Standard model.** Building and Environment, v. 44, p. 948-960, 2009.

BEDALE, E. M. **The effects of posture and rest in muscular work.** UK: Industrial Fatigue Research, 1924.

BERNE, R. M. LEVY, N.M. **Fisiologia.** 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

BIAZZOTTO, B.C; BRUDNIEWSKI, M et al. **Hipotermia no Período Peri-Operatório.** Revista Brasileira de Anestesiologia, v. 56, n.1, Janeiro/Fevereiro, 2006.

BRUNI, L.A. **Estatística aplicada a gestão empresarial.** 2ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CHIU, Mao-Lin. **Office investment decision-making and building performance.** Dissertation (Department of Architecture) Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1991.

CLARK, K. **Nutritional guidance to soccer players for training and competition.** Journal of Sports Science. v.12, p.43-50, 1998.

CORRAR,J.L; PAULO, E. DIAS, F.M.J. **Análise Multivariada para cursos de administração, ciências contábeis e economia.** 1ed. São Paulo: Atlas, 2009.

COUTINHO, Antônio S. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho.** 2. ed. João Pessoa: Universitária, 2005.

DE DEAR, R. J., BRAGER, G. S. “**Developing na adaptive model of thermal comfort and preference**” **ASHRAE Transactions.** Atlanta: v. 104, p. 145-167, 1998.

DE DEAR, R.J.; BRAGER, G.S. **The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment.** Int. J. Bio-meteorol. v. 45, p. 100-108. 2001.



DOUGLAS , C.R. **Tratado de Fisiologia: Aplicada à Saúde.** 5. ed. São Paulo: Robe editorial LTDA, 2002.

**Ergonomics of the thermal environments** - Instruments for measuring physical quantities, ISO 7726. Genebra, 1998.

FANGER, Ole P. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.** New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

FANGER, P.O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.** New Your: McGraw – Hill, 1972.

FOSS, L.M; KETAYIAN, J.S. **Bases fisiológicas do exercício e do esporte.** Rio de Janeiro, 6 ed. 2000.

FRANK, S. M., RAJA, S. N., BULCAO, C. F., GOLDSTEIN, D. S. **Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans.** Journal of Applied Physiology. v. 86(5), p. 1588-1593, 1999.

GALLOWAY, S. D. R.; MAUGHAN, R. J. **Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man.** Medicine and Science in Sports Exercise, v. 29, n. 9, p.1240-1249, 1997.

GARRETT, E.W; KIRKENDALL. **A ciência do exercício e dos esportes.** Artmed, Porto Alegre, 2003.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 1996.

GIVONI, B.; GOLDMAN, R. F. **Predicting Effects of Heat Acclimatization on Heart Rate and Rectal Temperature.** Journal of Applied Physiology. v.35, 1973.

GOMES, AD. **Relações entre preferências térmicas humanas no interior de edificações e as temperaturas externas: Um estudo sobre o método adotado na norma AHSRAE 55-2004.** 198 fls. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

GOMES, C. H. G. **Análise em curto período de tempo das condições de Conforto Térmico em um Edifício de escritórios na cidade de Maringá.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia – Adaptando o Trabalho ao Homem.** Porto Alegre: Ed. Bookman, 1998.

GUEDES, P.D; GUEDES, P.R.E.J. **Manual pratico para avaliação em Educação Física.** São Paulo, 2006.

GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia de Processo.** Porto Alegre: Fundação Empresa Escola de Engenharia UFRGS – FEENG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Escola de Engenharia, UFRGS, 2001.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Fisiologia Médica.** 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

HAVENITH, G. HOLMEÂR, I.KEN, **Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production.** Energy and Buildings. v.34, p.581-591. 2002.

HAYWARD, J. S., ECKERSON, J. D., COLLIS, M. L. **Thermoregulatory heat production in man: prediction quation based on skin and core temperatures.** Journal of Applied Physiology: v. 42, p. 377-384, 1977.

HÖPPE, P. **Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort.** Energy and Buildings. v. 34, p. 661-665. 2002.

HOWELL, W., STRAMLER, C.S. **The contribution of Psychological variables to the prediction of thermal comfort judgments in real Word settings.** ASHRAE Transsactions. Atlanta: v. 87, n.1, p. 609-621, 1981.

HUMPHREYS, M.A; NICOL, F. **Conflicting criteria for thermal sensation within the Fanger predicted mean Vote Equation.** In: CIBSE/ASHRAE JOINT NATIONAL CONFERENCE. Proceeding, p. 153-158, 1996.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção.** São Paulo, Edgard Blucher, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – **ISO 7730: Moderate thermal environments** - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort, ISO 7730. Genebra, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 10551: Ergonomics of the thermal environment** – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. Genebra, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 9920: Ergonomics of the thermal environment** - Determination of Isolamento Térmico das Vestimentas. Genebra, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726: thermal environments – instruments and methods for measuring physical quantities.** Switzerland, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8996: Ergonomics – Determination of metabolic heat production.** Switzerland, 2004.

ISAWA, K; SHUKUYA, M; KOMIZO, T. **Human-body exergy consumption varying with the combination of room air and mean radiant temperatures.** Journal of Environmental Engineering, Architectural Institute of Japan, v. 570, p. 29-35, 2003.

KATAVOUTAS, G; THEOHARATOS, G; FLOCAS, H.A et al. **Measuring the effects of heat wave episodes on the human body's thermal balance.** Int J Biometeorol. v. 53, p.177–187, 2009.

LORSCH, H., ABDU, O. **The impact of the building indoor environment on occupant productivity:** Recent Studies. ASHRAE Transactions, n. 94, v. 100, p.741-749, ASHRAE Transactions,1994.

MAGALHÃES, C., SILVA, A. F., ANJOS, L. A. **A taxa metabólica basal é superestimada pelas equações preditivas em universitárias do Rio de Janeiro, Brasil.** Archivos Latino americanos de Nutricion. v. 49, n. 3, 1999.

McARDLE, W. D. KATCH, F. I. KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício.** 5ª Ed. Rio de Janeiro:Guanabara, 2003.

MONTEIRO, M.L. **Modelos preditivos de conforto térmico: Quantificação de relação entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e**

**projeto de espaços abertos.** 382 fls. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2008.

NAGASHIMA, K. **Central Mechanisms for Thermoregulation in a Hot Environment.** Industrial Health, v.44, p. 359-367, 2006.

NELSON, T. M., NILSSON, T.H., HOPKINS, G. W. **Thermal Comfort: Advantages and Deviations.** ASHRAE Transactions. Atlanta: v. 93, n.1, p. 1039- 1054, 1987.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M.A. **Adaptative thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** In: Moving Thermal Comfort Standards into the 21 Century, 2001, Windsor, UK. Proceedin Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.

NICOL, F. **Special issue on thermal comfort standards.** Energy and Buildings, v. 34, p.529-532, 2002.

NISHI, Y; GAGGE, A.P. **Effective temperature scale for use in hypo-and hyperbaric environments.** Aviation Space and Environmental Medicine. v.48, p.97-107, 1977.

ONG, B. L. **Standards for Thermal Comfort.** Cap 7: Designing for the individual: a radical reading of ISO 7730. Editado por Nicol, F., Humphreys, M., Sykes, O. & Roaf, S. – Chapman & Hall, Londres, 1995.

PACHECO, V.J.E. **Análise de desempenho térmico em edificações habitadas e não habitadas na cidade de Cuiabá – MT.** 129 fls. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em física e Meio ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, 2007.

PAULO, E. Dias, J.M; Corrar, L.J. **Análise multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia.** 1ª ed. p.568. Atlas: 2007.

PINTO, N. M. **Condições e parâmetros para a determinação de conforto térmico em ambientes industriais do ramo metal mecânico.** 107 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

PORTO, C.C. **Semiologia Médica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

POWERS, S. K. HOWLEY, E. T. **Fisiologia do Exercício**. 5ª Ed. São Paulo: Manole, 2006.

PREK, M. **Thermodynamic analysis of human heat and mass transfer and their impact on thermal comfort**. International Journal of heat and mass transfer. v. 48. p.731-739, 2005.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. Porto Alegre: Dc-Luzzatto, 1986.

ROHLES JR, F. H. **Temperature & Temperament - A Psychologist Looks at Comfort**. ASHRAE Journal. p. 14-22. February, 2007.

ROHLES, F. H. **"Temperature or Temperament: A Psychologist looks at Thermal Comfort"**. ASHRAE Transactions. Atlanta: v. 86, n.1, p. 541-554, 1980.

RORIZ, M. **Conforto Térmico em Edificações: um modelo matemático e uma aplicação**. Tese (Doutorado em Engenharia civil), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1996.

RUAS, C.A. **Avaliação do conforto térmico: Contribuição a aplicação das normas internacionais**. 90 fls. Dissertação. (Mestrado em Engenharia civil) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1999.

SEPPÄNEN, O. FISK, W.J, FAULKNER D; LEI, QH. **Room temperature and productivity in office work**. In: Proceedings of the Healthy Buildings, Conference, v. 1, p. 243-7, Lisbon, 2006.

SILVA, B.S. **Análise da relação entre produtividade e conforto térmico: o caso dos digitadores do centro de processamento de dados e cobrança da caixa econômica federal do estado de Pernambuco**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA,L.E; MENEZES, M.E. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4a ed. p.138. UFSC. Florianópolis, 2005.

STILPEN, D.V.S. **Eficiência Energética e Arquitetura Bioclimática: um Caso do Centro de Energia e Tecnologias Sustentáveis**. 313 fls. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

STOLWIJK, J. A. J.; HARDY, J. D. **Control of body temperature**. In: Lee DHK, editor. Handbook of physiology. Williams and Wilkins. Baltimore, 1977.

SUEN, V.M.M; SILVA, A.G; MARCHINI, S.J. **Determinação do metabolismo energético no homem**. Revista de Medicina e Nutrição clínica. Ribeirão Preto, v.31, p.13-21, jan/mar, 1998.

TAFFÉ, P. **A qualitative response model thermal comfort**. Building and environment. Oxford, v. 32, p. 115-121, 1997.

TANABE, S. **Thermal Comfort Requirements in Japan**. Waseda University: 1988.

TONELLI, D; TOLDO, TA. **Regulação da Temperatura e Anestesia**. Revista Brasileira de Anestesiologia. v.44, n.3, p.195-204. Maio/Junho, 1994.

TRIOILA, F.M. **Introdução a estatística**. Rio de Janeiro:LTC, 2005.

VERGARA, L. G. L; LAMBERTS, R. **Análise das condições de conforto térmico de trabalhadores da unidade de terapia intensiva do hospital universitário de Florianópolis**. 201 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

WHO, World Health Organization. **Visual display terminals and workers' health**. Geneva: WHO offset publication v. 99, 1987.

WYON, David. Predicting the effects of individual control on productivity. White paper n. 960130, 1996.

WYON, David. **The economic benefits of a healthy indoor environment**. National Institute of Occupational Health, Copenhagen, Denmark, 1994.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis.** 198 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias, baseada nos mecanismos físicos de troca de calor e em medições efetuadas em campo.** 251 fls. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Depto de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

**APÊNDICE A** - Questionário de percepção e preferência térmica aplicada aos trabalhadores conforme a ISO 10551(1995)



**QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO E PREFERÊNCIA TÉRMICA – ISO 10551(1995)**  
**SETOR: \_\_\_\_\_**

**Quesito 1) Dados do trabalhador:**

Idade:..... Altura:..... Peso:..... Sexo:..... Data:.....

**Quesito 2) Marque as vestimentas que está utilizando: (Tabela conforme ISO 9920/95)**

Roupas de baixo e Acessórios		Blusa leve fina, manga curta	
Sapato com sola fina		Camiseta	
Sapato com sola grossa		Calças	
Botinas		Calça curta (bermuda)	
Meia soquete fina		Calça tecido fino	
Meia soquete grossa		Calça jeans	
Meia até o Joelho		Calça grossa, de lã ou flanela	
Meia de nylon longa fina		Vestidos e Saias	
Meia calça com pernas longas		Saia leve, de verão	
Meia calça com pernas curtas		Saia pesada, de inverno	
Cueca		Vestido de verão, mangas curtas	
Calcinha		Vestido de inverno, manga longa	
Soutien		Vestido completo, fechado	
Camiseta de baixo		Casacos e Suéteres	
Camiseta de baixo manga longa		Colete sem mangas fino	
Gravata		Colete sem mangas grosso	
Camisas e Blusas		Suéter manga longa fino	
Camisa de manga curta		Suéter manga longa grosso	
Camisa manga longa tecido fino		Jaqueta leve	
Camisa manga longa normal		Jaqueta/japona, normal	
Camisa de flanela ou moleton		Paletó	
Blusa leve fina, manga longa		Paletó de verão, blazer	

Houve alguma mudança de vestimentas entre um horário e outro? Qual?

**Quesito 3) “Com relação a sua sensação térmica, como você está se sentindo nesse momento?”**

Com muito calor				
Com calor				
Levemente com calor				
Neutro				
Levemente com frio				
Com frio				
Com muito frio				


**Quesito 4) “De que maneira você se encontra nesse momento?”**

Confortável				
Levemente inconfortável				
Inconfortável				
Muito inconfortável				

**Quesito 5) “Como você preferia estar se sentindo agora?”**

Bem mais aquecido				
Mais aquecido				
Um pouco mais aquecido				
Assim mesmo				
Um pouco mais refrescado				
Mais refrescado				
Bem mais refrescado				

**APÊNDICE B** - Descrição das atividades e classificação da taxa metabólica através da ISO8996(2004) do conjunto de 30 medições.

Setores	Descrição da atividade	Taxa metabólica estimada (W/m <sup>2</sup> )
<p>A – Expedição</p> 	<p>Realiza-se a embalagem dos produtos, sendo executada por quatro funcionários. O produto é colocado manualmente na esteira, embalado com o plástico e introduzido na máquina de embalagem onde realiza o encolhimento do plástico. O produto é retirado manualmente por dois funcionários e transportado até a expedição.</p> <p>A postura dos funcionários é em pé durante a maior parte da jornada de trabalho.</p> <p>Número de trabalhadores: 04 Peso manuseado: até 30Kg.</p>	185 W/m <sup>2</sup>
<p>B – Estamparia prensas</p> 	<p>Realiza-se a estampagem das chapas que compõe o produto através de prensas com acionamento bi-manual e pedais.</p> <p>A postura dos funcionários é predominantemente sentada, com esforços musculares estáticos de membros superiores.</p> <p>Número de trabalhadores: 10 Peso manuseado: até 10 Kg.</p>	160 W/m <sup>2</sup>
<p>C – Estamparia guilhotinas</p> 	<p>Neste setor são realizados os cortes das chapas conforme as dimensões do produto através de guilhotinas acionadas através de pedais.</p> <p>A postura de trabalho é em pé durante toda jornada de trabalho com esforços musculares estáticos de membros superiores.</p> <p>Peso manuseado: até 10Kg. Número de trabalhadores: 10</p>	160
<p>D – Estamparia dobradeiras</p> 	<p>Neste setor são realizadas as dobras das chapas conforme os diferentes produtos, através de dobradeiras acionadas por pedal e bi-manual.</p> <p>Postura predominantemente sentada com esforços musculares estáticos de membros superiores.</p> <p>Peso manuseado: até 6Kg. Número de trabalhadores: 10</p>	140

<p>E – Estamparia dobradeiras computadorizadas</p> 	<p>Neste setor são realizadas as dobras com dimensões maiores através de dobradeiras computadorizadas acionadas por pedais. Postura em pé com pouco deslocamento durante a jornada de trabalho. Peso manuseado: até 10kg Número de trabalhadores: 7</p>	120
<p>F – Pintura</p> 	<p>Neste setor é realizada a pintura a pó através de um braço mecânico e também manualmente. Postura é em pé durante toda jornada de trabalho, com esforços musculares estáticos de membros superiores. Número de trabalhadores: 06 Peso manuseado: até 30Kg.</p>	160
<p>G – Ponteadeiras</p> 	<p>Realiza-se a solda das peças através de acionamento por pedal. Postura em pé durante a jornada de trabalho com esforços musculares estáticos de membros superiores. Número de trabalhadores: 18 Peso manuseado: até 30kg</p>	160
<p>H – Ponteadeiras roupeiros</p> 	<p>Como no setor anterior realiza-se a solda, porém somente dos roupeiros. Postura em pé durante a jornada de trabalho com esforços musculares estáticos de membros superiores. Número de trabalhadores: 18 Peso manuseado: até 30kg</p>	160

**ANEXO A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Ponta Grossa  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

---

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Eu, \_\_\_\_\_, RG \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo de livre e espontânea vontade que a empresa  
 \_\_\_\_\_, situada  
 à \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_, assim como os colaboradores da mesma, por mim representados, sejam campo de coleta de dados do estudo **“Análise das condições de conforto térmico em ambientes industriais através da utilização da taxa metabólica obtidas em situação real de trabalho.”**, e esclareço que obtive todas as informações necessárias.

Estou ciente que:

I) A Empresa tem a liberdade de desistir ou interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar desde que comunique com antecedência o pesquisador responsável;

II) Os resultados obtidos durante este ensaio serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que nem o nome desta empresa, de seus dirigentes e colaboradores sejam mencionados;

Ponta Grossa, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2011.

**PARTICIPANTE:**

<b>Dados da Empresa</b>	
Nome:	
Endereço:	
Contato:	Cargo:
Telefone:	e-mail:

**Pesquisador Responsável pelo Projeto:** \_\_\_\_\_

**Assinatura do Responsável pelo Consentimento:** \_\_\_\_\_