



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UM ESCRITÓRIO  
LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ/PA COM BASE NA  
NORMA ABNT NBR 16401-2**

**THIAGO BARROSO COSTA**

**Tucuruí – PA  
2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UM ESCRITÓRIO LOCALIZADO  
NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ/PA COM BASE NA NORMA ABNT NBR 16401-2**

**THIAGO BARROSO COSTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador:  
Prof. Eng. Artur José Cunha da Silva**

**Tucuruí – PA  
2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

C837a Costa, Thiago Barroso.  
Avaliação do conforto térmico de um escritório localizado no município de Tucuruí/PA com base na norma ABNT NBR 16401-2 / Thiago Barroso Costa. — 2021.  
75 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Artur José Cunha da Silva  
Coorientador(a): Prof. Me. Jessé Luiz Padilha  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Mecânica, Tucuruí, 2021.

1. Conforto térmico. 2. PMV/PPD. 3. Zona de conforto. 4. Desconforto localizado. I. Título.

CDD 697

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UM ESCRITÓRIO LOCALIZADO  
NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ/PA COM BASE NA NORMA ABNT NBR 16401-2**

**THIAGO BARROSO COSTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica do Campus de Tucuruí, como parte dos requisitos para obtenção do título bacharel em Engenharia Mecânica.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Eng. Artur José Cunha da Silva  
FEM/CAMTUC/UFPA

---

Membro Interno: Prof. Me. Jessé Luís Padilha  
FEM/CAMTUC/UFPA

---

Membro Interno: Prof. Me. Maciel da Costa Furtado  
FEM/CAMTUC/UFPA

**Conceito** \_\_\_\_\_

**Tucuruí, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021**

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Jardilene Meireles Barroso, que sempre esteve ao meu lado me incentivando a estudar, principalmente nos momentos em que eu me encontrava desmotivado e ocioso, e que batalhou em prol de me conceder meios de adquirir educação.

À minha esposa Andressa Campos por estar comigo compartilhando momentos bons e ruins, sendo compreensiva, solícita e verdadeira amiga, inclusive é outra que me incentiva bastante a persistir nos estudos.

Aos demais familiares que me estimularam a acreditar que eu seria capaz de cumprir essa jornada, especialmente pelo apoio da minha irmã Eduarda, minhas avós Alice e Jovina, meus tios Marlene, Jucy, Manoel, Cilene, Selma, e a já falecida tia Zinha.

À Universidade Federal do Pará, campus de Tucuruí, pela oportunidade de trilhar esse curso, e a toda sua equipe técnica e administrativa que desde o início dedicou-se a manter regularidade à rotina do campus visando à efetividade das atividades essenciais de ensino.

Aos meus colegas de turma pelas trocas de experiências, companheirismo em tarefas de sala de aula, e por ajudas nas situações mais desafiadoras.

A todos os professores pela paciência, empenho e compromisso com que lecionaram e dividiram suas experiências e expertises, especialmente ao Prof. Jessé Padilha que comigo, a princípio, concebeu a temática deste trabalho.

Aos amigos que levo da Universidade: Lorrann Borges, Naianny Matos, Valdir Santos, Gineton Baía, Rodrigo Santos, Emanuel Vieira, Eurico Júnior e Robert Cavalcante, pela confiança e por tornarem essa jornada mais graciosa.

Ao meu amigo e orientador Artur Cunha, pelo incentivo à consecução deste trabalho, e pela orientação sincera, amistosa e objetiva à finalização do mesmo, pela indicação à vaga de estágio no Tecnolago, e pela parceria desde as aulas de nivelamento no início do curso.

## **AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UM ESCRITÓRIO LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ/PA COM BASE NA NORMA ABNT NBR 16401-2**

### **RESUMO**

*O conforto térmico é condição necessária para que o ser humano encontre-se em estado total de bem-estar. Visto que, sob desconforto térmico, o indivíduo compromete seu rendimento em qualquer tarefa que tente executar. Diante disso, torna-se comum a aplicação de sistemas de climatização em ambientes ocupados, a fim de adaptá-los às condições de conforto térmico. Todavia, um sistema de arrefecimento do ar superdimensionado e/ou sem um controle adequado, pode provocar sensações de frio aos ocupantes do ambiente. Baseado nisso, este estudo dedicou-se a avaliar as condições de conforto térmico no interior de um recinto climatizado. No qual os usuários praticam atividades sedentárias típicas de um escritório, não assumem controle do sistema, e eventualmente relatam desconforto devido a sensação de frio. Para avaliação de conforto térmico da referida sala, aplicou-se os métodos previstos pela norma ABNT NBR 16401-2 (2008), a saber, a determinação dos índices PMV/PPD, das Zonas de Conforto, e da análise de Desconfortos Localizados. Através disso, verificou-se analiticamente que, de fato, o ambiente apresentou situações de desconforto térmico geral e de desconforto localizado devido a sensação subjetiva de frio. Além disso, a condição de desconforto térmico durante o período analisado agravou-se com o passar do tempo, principalmente ao anoitecer. Assim, concluiu-se que os funcionários precisam ser mais ativos na alteração de setpoint do sistema para adequá-lo às ocasiões específicas, principalmente no período noturno, onde ocorre maior diminuição da temperatura operativa interna do ambiente.*

**Palavras-chave:** *Conforto térmico, PMV/PPD, Zona de conforto, Desconforto localizado.*

## EVALUATION OF THERMAL COMFORT OF AN OFFICE LOCATED IN THE CITY OF TUCURUÍ / PA BASED ON ABNT NBR 16401-2

### ABSTRACT

*Thermal comfort is a necessary condition for the human being to be in a total state of well-being. Since, under thermal discomfort, the individual compromises his performance in any task he tries to perform. Therefore, it becomes common to apply air conditioning systems in occupied environments, in order to adapt them to thermal comfort conditions. However, an oversized air cooling system and/or without adequate control, can cause cold sensations to the occupants of the environment. Based on that, this study is dedicated to assessing the conditions of thermal comfort inside an air-conditioned enclosure. In which the users are practicing sedentary activities typical of an office, do not take control of the system, and eventually report discomfort due to the feeling of cold. To assess the thermal comfort of that room, the methods recommended by the ABNT NBR 16401-2 (2008) standard were applied, i.e., the determination of the PMV/PPD indices, Comfort Zones, and the analysis of Local Discomfort. Thereby, it was verified analytically that, in fact, the environment presented situations of general thermal discomfort and local discomfort due to the sensation of cold. In addition, the condition of thermal discomfort during the analyzed period worsened over time, especially at dusk. Thus, it was concluded that the employees need to be more active in changing the system's setpoint to adapt it to specific occasions, especially at night, when there is a greater decrease in the internal operative temperature of the environment.*

**Keywords:** *Thermal comfort, PMV/PPD, Comfort zone, Local discomfort.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formas de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente.....	15
Figura 2 - Escala sétima de sensação de conforto térmico. ....	25
Figura 3 - Gráfico da relação entre PMV e PPD. ....	25
Figura 4 - Exemplos de zonas de conforto para baixa velocidade do ar. ....	27
Figura 5 - Exemplos de zonas de conforto para elevada velocidade do ar.....	29
Figura 6. Planta baixa da sala da secretaria. ....	34
Figura 7 - Interface do software da Universidade de Lund. ....	45
Figura 8 - Interface do software do CBE.....	47
Figura 9. Fluxograma para fixação de limites de velocidade do ar. ....	48
Figura 10. Gráfico característico do PMV.....	52
Figura 11. Zona de conforto do P1 às 15 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	54
Figura 12. Zona de conforto do P1 às 16 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	55
Figura 13. Zona de conforto do P1 às 17 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	55
Figura 14. Zona de conforto do P1 às 20 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	55
Figura 15. Zona de conforto do P2 às 15 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	56
Figura 16. Zona de conforto do P2 às 16 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	56
Figura 17. Zona de conforto do P2 às 17 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	56
Figura 18. Zona de conforto do P2 às 20 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.....	56
Figura 19. Zona de conforto do P3 às 17 h a) para 0,37 clo e b) para 0,53 clo.....	57
Figura 20. Zona de conforto do P3 às 20 h a) para 0,37 clo e b) para 0,53 clo.....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre tipo de atividade e taxa metabólica. ....	20
Quadro 2 - Relação entre vestuário e resistência térmica.....	21
Quadro 3. Especificações técnicas do condicionador de ar.....	34
Quadro 4. Alturas de medição da temperatura do ar [m]. ....	37
Quadro 5. Isolamento de peças de vestimenta (Iclu) [clo]. ....	42
Quadro 6. Valores de $\alpha$ em função da velocidade do ar.....	46
Quadro 7. Limites máximos exigidos de PPD e PMV. ....	52
Quadro 8. Limites máximos de alterações permitidas para distintos períodos de tempo.....	53
Quadro 9. Temperatura média do piso [°C]. ....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tempo na cidade de Tucuruí/PA durante as medições.....	35
Tabela 2. Requisitos básicos para os instrumentos de medição. ....	36
Tabela 3. Variáveis ambientais medidas às 15 h. ....	40
Tabela 4. Variáveis ambientais medidas às 16 h. ....	40
Tabela 5. Variáveis ambientais medidas às 17 h. ....	40
Tabela 6. Variáveis ambientais medidas às 20 h. ....	41
Tabela 7. Temperatura radiante média (TRM) [°C]. ....	41
Tabela 8. Isolamento da vestimenta (Icl) [clo]. ....	43
Tabela 9. Dados de entrada para o PMV às 15 h. ....	44
Tabela 10. Dados de entrada para o PMV às 16 h. ....	44
Tabela 11. Dados de entrada para o PMV às 17 h. ....	44
Tabela 12. Dados de entrada para o PMV às 20 h. ....	45
Tabela 13. Temperatura média superficial $T_s$ [°C]. ....	49
Tabela 14. Índices de conforto para 0,41 clo. ....	51
Tabela 15. Índices de conforto para 0,59 clo. ....	51
Tabela 16. Temperatura operativa (Top) [°C]. ....	53
Tabela 17. Alterações $\Delta T_{op}$ [°C]. ....	54
Tabela 18. Gradiente vertical de temperatura ( $\Delta T_{ar}$ ) [°C]. ....	58
Tabela 19. Velocidade do ar em P3 à altura de 1,7 m var1,7 [m/s]. ....	59
Tabela 20. Limites de velocidade do ar em P1 e P2 [m/s]. ....	60
Tabela 21. Assimetria de temperatura radiante para P1 $\Delta T_{pr}$ [°C]. ....	60
Tabela 22. Assimetria de temperatura radiante para P2 $\Delta T_{pr}$ [°C]. ....	60
Tabela 23. Assimetria de temperatura radiante para P3 $\Delta T_{pr}$ [°C]. ....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
EH	Exceeded Hours (Horas Excedidas)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FCS	Fator de Calor Sensível
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	International Organization for Standardization
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Técnica Brasileira
PMV	Predicted Mean Vote (Voto Médio Predito)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied (Percentual Predito de Insatisfeitos)
PVC	Policloreto de Vinila
RG	Radiação Global
SET	Standard Effective Temperature (Temperatura Efetiva Padrão)
SI	Sistema Internacional de Unidades
TBS	Temperatura de Bulbo Seco
TBU	Temperatura de Bulbo Úmido
TO	Temperatura de Orvalho
TRM	Temperatura Radiante Média
TRY	Test Reference Year (Ano Climático de Referência)
UA	Umidade Absoluta
UE	Umidade Específica
UR	Umidade Relativa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	CONFORTO TÉRMICO.....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Principais variáveis de conforto térmico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Índices de conforto térmico .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Desconforto localizado .....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	33
3.2	MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	36
<b>3.2.1</b>	<b>Medição da Temperatura do Ar (TBS).....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Medição da Umidade Relativa do Ar .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Medição da Velocidade do Ar .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Medição da Temperatura de globo (T<sub>g</sub>).....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Medição da Temperatura Superficial das Envoltórias.....</b>	<b>39</b>
3.3	PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	40
<b>3.3.1</b>	<b>Cálculo da temperatura radiante média (TRM) .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Estimativa das variáveis pessoais.....</b>	<b>42</b>
3.4	OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO.....	43
<b>3.4.1</b>	<b>PMV e PPD .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Método gráfico.....</b>	<b>46</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Desconforto localizado .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>51</b>
4.1	PMV E PPD .....	51
4.2	MÉTODO GRÁFICO .....	53
<b>4.2.1</b>	<b>Temperatura Operativa.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Zona de conforto para baixa velocidade do ar .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Zona de conforto para elevada velocidade do ar.....</b>	<b>57</b>
4.3	DESCONFORTO LOCALIZADO.....	58

<b>4.3.1</b>	<b>Temperatura do piso .....</b>	<b>58</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Gradiente vertical de temperatura .....</b>	<b>58</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Correntes de ar .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Assimetria de Temperatura Radiante .....</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXO A – Isolamento térmico de peças de roupas. ....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO B – Taxas metabólicas para atividades típicas. ....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O fato do ser humano encontrar-se termicamente satisfeito com o meio ao seu redor compreende pré-requisito para que ele possa realizar suas tarefas do cotidiano com eficiência, segurança e salubridade. Sob condições de descontentamento térmico as pessoas tendem a apresentar baixo nível de concentração, alterações no humor, e pouco rendimento em qualquer atividade que exerçam, desde estudar, trabalhar, gozar de lazer, descansar, etc. A título de exemplo, Batiz et al. (2009) diz que em 2004, Wargocki realizou um experimento com alunos de 6 a 16 anos verificando que a redução da temperatura aumentava a velocidade de resposta em 28%, reduzia erros de atenção em 10 % e aumentava em 24% o ritmo na leitura dos textos.

Dessa maneira, fica claro que é preciso controlar os parâmetros que influenciam no conforto térmico humano. E, para isso, surge como alternativa o condicionamento de ar, que conforme a ABNT (2008), é o processo que objetiva controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente. Sobretudo, quando um ambiente necessita de ser condicionado para atender a certas condições específicas (conforto térmico, processos clínicos, industriais, laboratoriais, etc.), é sugerido ao projetista que atente para as predições constantes em normas e regulamentos vigentes sobre sua jurisdição, para que o correto dimensionamento do sistema.

Agora, considerando um ambiente de escritório condicionado, onde as pessoas comumente exercem atividades físicas sedentárias, e não têm controle de algumas variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar), é requerido avaliar tal ambiente sob a ótica do conforto térmico. A ASHRAE (2010) define conforto térmico como a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Tendo isso em vista, foi editada a norma brasileira ABNT NBR 16401-2:2008 (Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico). Cujo objetivo é especificar as combinações de variáveis térmicas ambientais e pessoais que produzam condições aceitáveis para a maioria dos ocupantes em um determinado ambiente (ABNT, 2008).

Portanto, um ambiente de escritório climatizado de órgão público do município de Tucuruí/PA, segundo alguns funcionários do órgão, em certas ocasiões apresenta desconforto térmico devido a sensação de frio. Diante disso, resolveu-se avaliar tal ambiente térmico com respaldo na norma ABNT NBR 16401-2, porquanto concluiu-se que a mesma é direcionada para esse tipo de problema, e será eficaz para alcançar o objetivo deste trabalho. Depois, será possível identificar as possíveis causas e graus de desconforto, a fim inibi-los.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Em função de eventuais relatos de insatisfação térmica dos funcionários do escritório da secretaria da escola devido ao frio, foi necessária a realização deste trabalho para que fossem identificadas as possíveis causas de desconforto do ambiente interno, visando saná-las. Visto que a sensação de frio pode prejudicar o desempenho dos funcionários em seu ambiente de trabalho, comprometendo sua eficiência. Além disso, os discentes da Faculdade de Engenharia Mecânica, do Campus de Tucuruí da Universidade Federal do Pará, poderão consultar este documento para tarefas práticas da disciplina de Climatização e Ar-Condicionado. Pois no referido Campus ainda não foi realizado um trabalho prático e experimental dessa natureza, que possa dar suporte aos estudos experimentais dos alunos, uma vez que este apresenta um roteiro prático para análise de ambientes de escritórios climatizados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

- Avaliar as condições de conforto térmico humano no ambiente interno do escritório da secretaria da escola Darcy Ribeiro localizada em Tucuruí-PA.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Coletar os dados e as informações relativos ao ambiente interno do escritório, como suas características arquitetônicas e as variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico;
- Aplicar os métodos propostos pela norma brasileira ABNT NBR 16401-2 (modelo do PMV/PPD, método da zona de conforto térmico aceitável, e critérios de análise para desconforto localizado);
- Utilizar os *softwares* livres: da Universidade de Lund, FI (para calcular o PMV/PPD), e a “Ferramenta de Conforto Térmico CBE” da Universidade Berkeley, US (para determinar as zonas de conforto).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONFORTO TÉRMICO

Conforme a ISO (2005) conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Este último termo, por sua vez, a ASHRAE (2010) define como as características do ambiente que afetam a perda de calor do indivíduo. Frota e Schiffer (2001) determinam que o organismo dos homeotérmicos pode ser comparado a uma máquina térmica e que a energia térmica produzida pelo organismo humano advém de reações químicas internas. Assim, consoante Buriol et al. (2015), para manter o equilíbrio térmico, o calor metabólico produzido pelo corpo humano, mais as trocas por radiação, evaporação e convecção devem se anular.

Sobre as trocas de calor do corpo para o ambiente térmico, Lamberts (2016) diz:

Como o corpo humano é um sistema termodinâmico, que produz calor e interage continuamente com o ambiente para alcançar o balanço térmico, existe uma constante troca de calor entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física e influenciada pelos mecanismos de adaptação fisiológica, condições ambientais e fatores individuais (LAMBERTS, 2016).

Sobre a homeotermia humana (propriedade do organismo humano de manter sua temperatura constante), Frota e Schiffer (2001) dizem:

A manutenção da temperatura interna do organismo humano relativamente constante, em ambientes cujas condições termo-higrométricas são as mais variadas e variáveis, se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução dos ganhos ou o aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controle (FROTA; SCHIFFER, 2001).

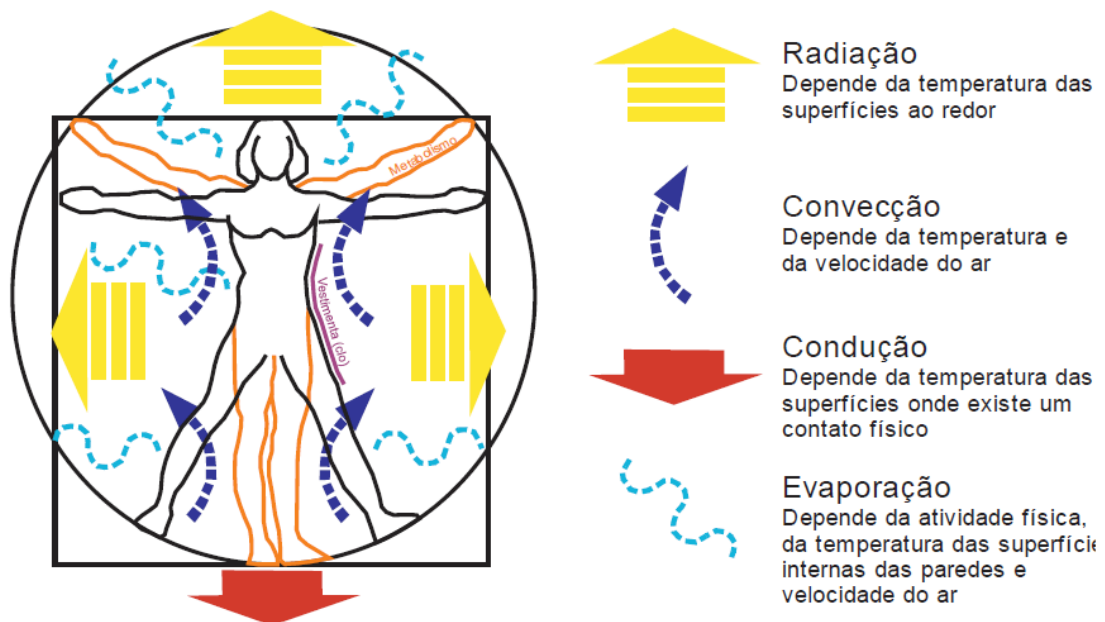
Para Biazotto et al. (2006), as principais respostas à hipotermia são vasoconstrição cutânea, termogênese sem tremores, tremores e alterações comportamentais. Sendo que a termogênese sem tremores ocorre por aumento da produção metabólica de calor e do consumo de oxigênio, sem aumento do trabalho muscular. A vasoconstrição cutânea, segundo Lamberts et al. (2016), provoca a diminuição do volume de sangue na região cutânea e do ritmo cardíaco. Já o tremor muscular é uma atividade involuntária que, conforme Bulcão (2021), podem aumentar a produção metabólica de calor em até 600% do nível basal.

Em relação às alterações comportamentais, Lamberts, Dutra e Pereira (2014), afirmam que frente à sensação de frio, alguns comportamentos humanos conscientes são adotados, sejam instintivos ou deliberativos. Dentre os quais é comum esfregar as mãos, curvar o corpo

(reduzindo a área de exposição da pele), praticar atividade física, ingerir bebida quente, aproximar-se de fontes de calor, cobrir-se de vestimentas, e procurar por abrigos com características isolantes. Enfim, Frota e Schiffer (2001) destacam que a termorregulação, apesar de ser o meio natural de controle de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço extra e, por conseguinte, uma queda de potencialidade de trabalho.

A Figura 1 apresenta as principais formas de perdas de calor do corpo humano para o ambiente externo, de sorte que Almeida (2009) explana que as trocas térmicas realizadas sem a presença de água são qualificadas de ‘trocas secas’. Ainda, continua dizendo que o calor cedido através dessas trocas (secas) é denominado calor sensível. Perrotta (2011), por sua vez, classifica as trocas secas em condução, convecção e radiação. O mesmo considera outros dois processos onde ocorrem trocas úmidas: transpiração e respiração. Afinal, Almeida (2009) expõe que o calor perdido através desta espécie de troca (úmida) é denominado calor latente e envolve mudança de estado líquido para o estado gasoso.

**Figura 1. Formas de troca de calor entre o corpo humano e o ambiente.**



Fonte: Lamberts, 2014.

Segundo Lamberts (2016), convém ressaltar que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, buscando-se sempre criar condições de conforto para um grupo. Diante disso, a ABNT (2008) sugere ao projetista que caso as condições não sejam aceitáveis para um conjunto de ocupantes em um mesmo espaço, estes devem ser pontualmente identificados, juntos com as possíveis causas de desconforto localizado. Referente aos fatores individuais, Buriol et al. (2015) afirma:

A temperatura fisiológica humana depende da intensidade do seu metabolismo e taxas de trocas de calor com o ambiente e isto varia com os indivíduos, de acordo com a constituição física geral, peso, tipo de vestuário, atividade física, dieta, fisiologia e grau de ajustamento às condições meteorológicas predominantes (BURIOL et al., 2015).

## 2.1.1 Principais variáveis de conforto térmico

### 2.1.1.1 Aspectos Ambientais

#### 2.1.1.1.1 Temperatura do ar ( $T_{ar}$ )

Segundo ASHRAE (2010), é a temperatura média do ar aferida no tempo e no espaço em torno do ocupante. Diante disso, Xavier (2000) justifica que essa variável é levada em consideração nos estudos de conforto térmico para determinar-se a troca de calor por convecção entre as pessoas e o ambiente ao redor. No processo de medição da temperatura do ar é obtida a *temperatura de bulbo seco*, que de acordo com Martinelli (2002), é a temperatura indicada por um termômetro comum, não exposto a radiação sendo assim a verdadeira temperatura do ar úmido. A temperatura de bulbo seco, conforme Perrotta (2011), pode ser medida através de sensores de expansão de líquidos ou sólidos, termômetros elétricos, de resistência variável ou termopares.

#### 2.1.1.1.2 Temperatura radiante média (TRM)

A temperatura radiante média refere-se à temperatura uniforme da superfície de uma sala imaginária preta, na qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação de um ambiente real não-uniforme. É um valor único para todo o corpo e pode ser considerado uma média espacial da temperatura radiante das superfícies em volta do ocupante (ASHRAE, 2010). Para Silva (2015), ao citar Rivero (1986) e Suzuki (2010), a temperatura das superfícies internas das envoltórias (paredes, tetos e pisos), bem como dos equipamentos e móveis do espaço interno, emitem radiações que servem de intercâmbio de calor entre o homem e o ambiente.

Para a medição desta variável, Xavier (2000) menciona que o termômetro de globo é o dispositivo mais usual na determinação dessa variável. Isso significa que sua medição é indireta, uma vez que, de acordo com Souza et al. (2002), a temperatura de globo negro é obtida pelo

termômetro de globo negro e este indica, por meio do valor lido de temperatura, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, três importantes fatores que afetam o conforto térmico. Segundo Fernandes e Krüger (2019), citando ISO (1998), o globo pode ter diâmetros variados, pois as fórmulas usadas no cálculo da 'TRM' incluem a variável diâmetro, possibilitando o ajuste.

#### 2.1.1.1.3 Umidade Relativa (UR)

Consoante ASHRAE (2010), consiste na razão entre a pressão parcial de vapor d'água no ar pela pressão de saturação do vapor d'água sob a mesma temperatura e pressão total, geralmente dada em porcentagem [%]. Segundo Almeida (2009), o vapor d'água presente no ar resulta da evaporação da água contida nos mares, rios, lagoas, espelhos d'água em geral, como também da evapotranspiração dos vegetais. Silva (2008) diz que o vapor de água, como os gases componentes da atmosfera, exerce pressão em todas as direções, pressão esta que depende da concentração do vapor, e explica que:

A quantidade de vapor que pode existir em determinada atmosfera é limitada para cada valor de temperatura. Temperaturas mais elevadas permitem a existência de maior quantidade de vapor do que em um ambiente com temperaturas mais baixas. Quando o ar contém o máximo de vapor de água permissível para determinada temperatura, diz-se que o ar se encontra saturado e a pressão de vapor nessa circunstância é dita máxima ou de saturação. Se a quantidade de vapor não é suficiente para saturar o ar, sua pressão é chamada de pressão parcial de vapor (SILVA,2008).

Na prática, a umidade do ar é determinada indiretamente por meio da pressão parcial exercida pelo vapor de água na atmosfera. Os instrumentos usados para esta finalidade são denominados higrômetros (SILVA, 2008). Freitas (2005) corrobora a influência da umidade relativa para a sensação de conforto térmico ao relatar que acima de 70%, ocorrem dificuldades para a absorção, pelo ar, da transpiração, nos climas quentes e úmidos, chegando o suor que fica sobre a pele a causar incômodos. Contudo, quando a umidade relativa do ar se encontra abaixo de 30 %, surgem ressecamentos e alergias, que podem ser agravados por partículas de poeiras suspensas no ar (FREITAS, 2005).

#### 2.1.1.1.4 Velocidade do ar ( $v_{ar}$ )

A movimentação do ar (ou vento) pode ocorrer naturalmente em função da diferença de temperatura existente entre as massas de ar; ou ainda pode se deslocar por meios mecânicos,

como um ventilador (ALMEIDA, 2009; SILVA, 2015). Segundo Perrotta (2011), citando Grzybowski (2004), em ambientes térmicos, a velocidade do vento é considerada a magnitude do vetor velocidade do fluxo de ar no ponto de medição. Contudo, para determinação da velocidade final do ar atuando sobre a pessoa, leva-se em consideração a velocidade absoluta do ar no ponto, e o incremento causado pelos movimentos das pessoas de acordo com a atividade desempenhada. Para medição da velocidade do ar, é comum utilizar os anemômetros direcionais de copo, de palhetas, de fio quente (termoanemômetro); ou anemômetros omnidirecionais, como a esfera aquecida (XAVIER, 2000; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Conforme Vecchi (2011), a velocidade do ar é uma variável ambiental de grande influência na obtenção do conforto térmico por favorecer as trocas de calor entre a pele e o meio, através da convecção e evaporação. Por conseguinte, Rossi (2012) afirma que a velocidade do ar atua em conjunto com a temperatura e a umidade relativa do ar. Portanto, para a condição de ar não saturado e temperatura inferior à da pele, quando a ventilação aumenta, o processo de evaporação aumenta, porque a umidade do corpo é retirada mais rapidamente. Além disso, o processo de convecção também aumenta, porque a velocidade do ar que rodeia o corpo é maior. Porém, Quando a ventilação diminui os processos de convecção e evaporação também diminuem (RUAS, 1999).

### *2.1.1.2 Aspectos Pessoais*

#### 2.1.1.2.1 Taxa metabólica (M)

Outro elemento essencial é o conhecimento sobre a atividade física a ser desenvolvida em um determinado ambiente, pois o conforto térmico está ligado à produção de energia metabólica. Assim, quanto mais intensa for a atividade física, tanto maior será o calor gerado por metabolismo (ALMEIDA, 2009; FREITAS, 2005). O calor gerado no organismo, que precisa ser dissipado para manutenção da temperatura interna, corresponde a 80% de toda a energia produzida através do metabolismo. Este consiste no processo pelo qual o organismo obtém energia através de elementos combustíveis orgânicos ingeridos pelo ser humano (GZRYBOWSKI, 2004). Para Ruas (1999), a taxa de metabolismo representa a quantidade de calor que o sistema termorregulador precisa trocar com o ambiente para que o equilíbrio térmico do corpo possa ser mantido. Para que isso ocorra, é necessário que todo calor em excesso gerado

pelo organismo através do metabolismo seja trocado na mesma proporção com o meio, evitando o acúmulo de calor (ASSIS, 2016).

Segundo Green (2011) apud Broday (2013), a produção de taxa metabólica pelo organismo é um reflexo das atividades celulares, que trabalham no corpo consumindo oxigênio ( $O_2$ ) e rejeitando dióxido de carbono ( $CO_2$ ). O oxigênio consumido na combustão dos alimentos como carboidratos, gorduras e proteínas, favorece um alto nível de atividade química dentro das células. Desse modo, elas geram calor e mantem o corpo humano a uma temperatura em torno de  $37\text{ }^\circ\text{C}$  para a realização de suas tarefas. O principal responsável pela produção de calor pelo corpo é o metabolismo basal, que é a taxa de metabolismo requerida para que o organismo mantenha-se desenvolvendo as funções necessárias (como respiração e circulação sanguínea), a nível zero de atividade externa (ÇENGEL & BOLES, 2008; MENEGATTI; RUPP; GHISI, 2018).

Segundo Malchaire, Alfano e Palella (2017), erros na estimativa da taxa metabólica resultarão, invariavelmente, em erros na avaliação de conforto térmico. Nesse caso, Rossi (2012) destaca algumas razões que podem diferenciar a taxa metabólica entre pessoas diversas, pois a produção metabólica individual sofre variação em função das dimensões, da composição e da temperatura do corpo. Portanto, a taxa metabólica aumenta:

- Quanto maior for a área superficial da pele, porquanto, como define Xavier (2000), a taxa metabólica é igual a energia produzida por unidade de área superficial do corpo. Sendo que a área superficial aproximada de uma pessoa média é de  $1,8\text{ m}^2$ ;
- Quanto maior for a quantidade de massa magra, visto que o tiritar (atividade muscular generalizada), segundo Couto (1978) apud Gallois (2002), é capaz de aumentar o metabolismo em 2 a 4 vezes;
- Quanto menor a quantidade de gordura corporal, pois camadas espessas de tecido adiposo enseja maior conservação do calor corporal no organismo, e, conseqüentemente, menor a produção metabólica (ROSSI, 2012).

Diante disso, conclui-se o homem tende a possuir maior taxa metabólica do que a mulher, em função de geralmente ter maior quantidade de massa magra, além de maior teor de hormônios andrógenos termogênicos. Ainda, pelo mesmo motivo, idosos também tem sua taxa metabólica reduzida. Ademais, segundo Froehle (2008) apud Rossi (2012), o clima também influencia, uma vez que populações de países quentes tendem a ter níveis mais baixos de metabolismo basal do que os moradores de climas mais frios (ROSSI, 2012; SILVA, 2015).

Enfim, a taxa metabólica não possui o mesmo valor para todas as atividades. Sua unidade de medida é o “met”, sendo que 1 met equivale a  $58,2\text{ W/m}^2$ , que representa a produção

de calor de uma pessoa que esteja descansando e sentada, em condições de conforto térmico. O Quadro 1 apresenta alguns exemplos de atividades físicas praticadas pelo indivíduo, com seus correspondentes valores de taxa metabólica. Agora, para informações mais detalhadas sobre cálculo e estimativa da taxa metabólica humana, recomenda-se consultar a norma ISO 9920 (2004) (BRODAY, 2013; GOUVÊA, 2004).

**Quadro 1 - Relação entre tipo de atividade e taxa metabólica.**

Tipo de Atividade	Taxa Metabólica (met)
Deitado	0,8
Sentado descansando	1,0
Sentado com atividade leve	1,2
Em pé com atividade leve	1,6
Em pé com atividade média	2,0
Atividade intensa	3,0

Fonte: Adaptado de Donaisky, Oliveira e Mendes, 2010.

#### 2.1.1.2.2 Isolamento da vestimenta ( $I_{cl}$ )

A vestimenta é um importante fator de conforto térmico, à medida que fornece isolamento térmico ao corpo e, em consequência, impõe resistência à troca de calor com o ambiente, interferindo nas perdas de calor sensível e latente. O fluxo de calor sensível da pele ocorre por condução, convecção e radiação, e tem que passar pela roupa até chegar ao ambiente: primeiramente da superfície da pele, atravessando a vestimenta, até a superfície externa da mesma; enfim, da superfície da roupa para o ambiente. A perda de calor latente por evaporação do suor que eclode pelos poros da pele, depende da diferença entre a pressão de vapor d'água junto à pele e no ar ambiente, da permeabilidade da vestimenta, e da quantidade de umidade na pele (ROSSI, 2012; RUAS, 1999).

A vestimenta adequada será função da temperatura média ambiente, do movimento do ar, do calor produzido pelo organismo, da umidade do ar, e da atividade a ser desenvolvida pelo indivíduo. Além disso, os valores dos isolamentos térmicos das roupas, ou das peças que compõem o traje utilizado pela pessoa, é função do material de confecção dos mesmos, bem como da espessura, do ajuste ao corpo e da cor dos tecidos. Isto porque determinadas cores das vestimentas podem influenciar no ganho de calor, sendo que cores claras refletem uma porcentagem maior da radiação incidente, e as cores escuras absorvem mais. Ademais, para ambientes frios, é preciso evitar o superdimensionamento do isolamento da vestimenta, porque durante atividades mais intensas, a sudorese excessiva gerada terá dificuldade em evaporar

(FROTA; SCHIFFER, 2001; XAVIER, 2000; SILVA, 2015; PERROTA, 2011; GALLOIS, 2002).

Segundo Lamberts (2016) a vestimenta funciona como isolante térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, ou ainda conforme seja seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre. Em relação a isso, Ruas (2001) detalha que a roupa é um elemento que dificulta a remoção de calor do corpo, porque:

- Diminui a troca térmica por convecção porque é um obstáculo ao movimento do ar junto à pele.
- Diminui o processo de evaporação do suor num grau que varia conforme a permeabilidade da roupa ao vapor d'água. Quanto menor a permeabilidade da roupa, menor será a remoção de calor por evaporação.
- A interferência da vestimenta na troca térmica por radiação depende principalmente da emissividade e absorvância de radiação da roupa e do comprimento de onda da radiação (RUAS, 2001).

O isolamento da vestimenta é um dos parâmetros mais facilmente ajustáveis pelo ser humano, porquanto as vestimentas do indivíduo podem ser adaptadas à ocasião, quando as variáveis climáticas não puderem ser modificadas. O Quadro 2 apresenta diversos tipos de peças de roupa com seus respectivos valores de resistência térmica. Quanto maior o número de peças incluídas no conjunto utilizado, maior será o isolamento total da vestimenta. Vale ressaltar que a resistência térmica da roupa é expressa em “clo”, sendo que 1 clo equivale a  $0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$ . Os dados constantes no Quadro 2 consistem apenas em uma amostragem, enquanto que tabelas mais completas e diversificadas poderão ser encontradas nas normas ISO 7730 (2005) e NBR 16401-2 (2008). Além disso, para informações mais detalhadas sobre cálculo e dimensionamento do isolamento térmico da vestimenta, recomenda-se consultar a norma ISO 9920 (2007) (BELLO, 2013; ROSSI, 2012; GOUVÊA, 2004).

**Quadro 2 - Relação entre vestuário e resistência térmica.**

Vestuário	Resistência Térmica (clo)
Somente calção	0,1
Vestuário tropical	0,3
Vestuário leve de verão	0,5
Vestuário para trabalho	0,7
Agasalho leve	1,0
Traje completo	1,5

Fonte: Adaptado de Donaisky, Oliveira e Mendes, 2010.

## 2.1.2 Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico procuram englobar, num parâmetro, o efeito conjunto das variáveis subjetivas (taxa metabólica e isolamento da vestimenta) e ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa). E, em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo para, a partir daí, relacionar as variáveis do ambiente e reunir, sob a forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos (FROTA; SCHIFFER, 2001). Sobre os índices de conforto, Araújo (2008) diz:

Através dos índices de conforto térmico é possível relacionar as variáveis que influem nas trocas térmicas entre o corpo e o meio, permitindo quantificar as consequências dessa exposição estabelecendo relações entre o indivíduo e as condições que julgue necessárias para atingir uma satisfação térmica (ARAÚJO, 2008).

### 2.1.2.1 Temperatura operativa

Vários parâmetros ambientais de ambientes internos influenciam nas condições de conforto térmico humano. À vista disso, cabe ressaltar que todas as normas existentes que versam sobre conforto térmico de ambientes internos usam como índice a *temperatura operativa* como referência. A qual, em ambientes internos moderados (típicos de escritório), com baixas velocidades do ar, pode ser entendida como a média aritmética entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média, caso seja pequena a diferença entre ambas. Assim, compreende-se que ela pode ser calculada em função da temperatura ambiente, da velocidade do ar e da temperatura radiante média (SIMONE et al., 2014; XAVIER, 2000; FIGUEIREDO, 2007; GOUVÊA, 2004).

A temperatura operativa do ar é um parâmetro utilizado com frequência para especificar valores aceitáveis para as condições ambientes, e que associa a influência da temperatura do ar e da temperatura radiante de superfícies em volta do ocupante (MATIAS; SANTOS, 2014). A relação entre temperatura operativa e as variáveis ambientais do ambiente térmico é discutida por Araújo (2008) a seguir:

A temperatura do ar, a radiação solar, o movimento do ar e a umidade, segundo Olgyay (1998), atuam no ser humano segundo uma completa inter-relação que pode ser expressa em uma escala calorimétrica denominada Temperatura Operativa ( $T_o$ ), desenvolvida por Winslow, Harrington e Gagge, em 1937, segundo Araújo (1996), para região de clima frio (ARAÚJO, 2008).

Além disso, a definição dada pela ISO (2005) é amplamente adotada por diversos autores ao redor do mundo, como Lamberts (2014), Silva (2001), Araújo (2008), Kazkaz e Palavek (2013), Coutinho (2014), Gouvêa (2004), Oliveira (2008), Simone et al. (2007), e ABNT (2008). Portanto, conforme ISO (2005) a temperatura operativa é definida como a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme. Enfim, reiterando, Lamberts (2014) corrobora Xavier (2000), e diz que a temperatura operativa pode ser calculada com suficiente aproximação como sendo o valor médio entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média.

Em suma, a temperatura operativa é resultante da temperatura interna do ar e da temperatura radiante média, variando de acordo com a velocidade do ar. Esta, por sua vez, exerce influência sobre a temperatura operativa ao afetar o coeficiente de transferência de calor – maiores velocidades do ar aumentam o coeficiente de transferência de calor por convecção (embora, neste processo, alterações do coeficiente de transferência de calor por radiação sejam desconsideradas). Vale notar que, de acordo com Rackes et al. (2005) e Simone et al. (2007), teoricamente, a temperatura operativa pode ter relação com a geometria e a posição de um ocupante dentro de um ambiente, devido a temperatura radiante depender da temperatura, emissividade e fator de forma das superfícies radiantes em relação ao ocupante representativo (SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2020; KAZKAZ; PAVELEK, 2013; CORVACHO; OLIVEIRA, 2013).

Agora, segundo Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2020), a importância de avaliar o conforto térmico através da temperatura operativa justifica-se no fato de que, considerar apenas a temperatura do ar, pressupõe que a temperatura radiante – que pode resultar do aporte térmico da edificação armazenado (inércia térmica) em função da radiação solar incidente – não é um fator importante. Todavia, a partir de determinados horários do dia, a temperatura do ar pode diminuir consideravelmente, mas a temperatura radiante acumulada na edificação aquece o ambiente, influenciando a temperatura operativa. Ao final, Simone et al. (2007) ratifica a relevância da temperatura radiante média sobre a temperatura operativa, ao afirmar que a temperatura do ar e a temperatura radiante média são igualmente importantes para o nível de conforto térmico no espaço.

### 2.1.2.2 PMV e PPD

Conhecido como *modelo estático de conforto térmico*, foi desenvolvido por Ole Fanger na década de 1970 baseado em estudos realizados em câmara climática na Dinamarca. Fanger usou dados obtidos em experiências de laboratório, com mais de 1300 pessoas, para estabelecer uma equação que permite, a partir do conhecimento das variáveis ambientais e pessoais, estimar a sensação térmica média de um grupo de pessoas quando exposto a uma determinada combinação dessas variáveis (RUPP et al., 2015; RUAS 2001).

As equações e métodos de Fanger são sustentados pela teoria do balanço de calor em estado estacionário entre o corpo humano e o ambiente, e têm sido utilizados mundialmente, servindo de base para a elaboração de normas internacionais importantes, como a ANSI/ASHRAE 55 (2010) e a ISO (2005). Através destes estudos, Fanger enunciou sua teoria referente à determinação da sensação de conforto térmico, conhecida como Modelo do PMV (GOMES 2007; XAVIER, 2000; GOMES 2003).

A respeito do índice PMV, Rupp (2015) contextualiza que:

O método foi proposto para ser utilizado, universalmente, em ambientes internos, com o intuito de prever a sensação térmica média de um grupo de pessoas e a respectiva porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, expressos pelos índices PMV e PPD - *Predicted Mean Vote* e *Predicted Percentage Dissatisfied* (Voto Médio Predito e Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) (RUPP, 2015).

De outro modo, Oliveira (2008) define que o índice PMV corresponde a uma previsão da votação de um determinado número de pessoas relativamente a um dado ambiente térmico. Ainda, afirma Oliveira (2008) que após a determinação do PMV, o índice PPD prevê o número de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico, e que, enfim, aparece sob a forma de porcentagem.

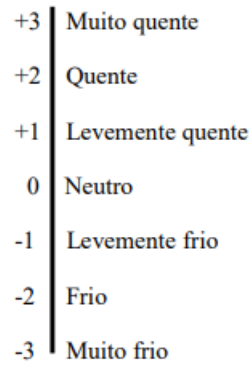
Gallo e Ribeiro (2007) indicam que para a determinação do PMV (e, logo, do PPD) demanda-se por variáveis de entrada, ao dizerem que:

O cálculo do índice PMV leva em consideração quatro variáveis físicas (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade do ar), e duas variáveis pessoais (nível de atividade física realizado pelos ocupantes do ambiente e tipo de roupa utilizado pelos mesmos) (GALLO; RIBEIRO, 2007).

O resultado do cálculo do PMV varia de -3 a +3, permitindo criar uma escala quantitativa relacionada a sensação de calor e de frio, conforme a escala apresentada na Figura 2. A escala apresentada na referida figura representa a escala sétima de sensação subjetiva de conforto térmico da ASHRAE (2010), e possibilita prever a provável sensação térmica que o

ocupante atribuiria ao ambiente térmico, conforme o valor do índice PMV calculado (CORREIA et al., 2016; SANTOS, 2018). Diante disso, Gomes (2003) pondera que o modelo do PMV tenta traduzir para um valor numérico a sensibilidade humana ao frio e ao calor.

**Figura 2 - Escala sétima de sensação de conforto térmico.**

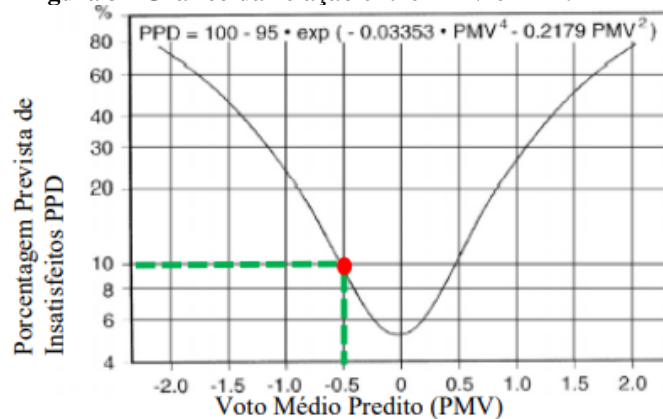


Fonte: Santos (2018).

Finalmente, reiterando a definição do PPD e sua relação direta com o PMV, segundo Santos (2018), o PPD é o índice que estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico. O mesmo representa-se como resultado da relação entre o balanço energético do corpo e as condições termo-higrométricas do ambiente (GOMES, 2007). De acordo com Correia et al. (2016), a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos pode ser calculada e obtida graficamente por meio do PMV.

Diante disso, a Figura 3 apresenta o gráfico que relaciona o PMV e o PPD. Na parte superior do gráfico é possível ver a equação do PPD em função do PMV, por meio da qual é possível calcular o percentual predito de insatisfeitos (PPD) com base no voto médio estimado (PMV). Contudo, é válido inferir diretamente pelo gráfico os valores de PPD correspondentes ao PMV determinado. E de fato, a Figura 3 destaca que quando o PMV = -0,5, isso alude ao PPD = 10% (SANTOS, 2018).

**Figura 3 - Gráfico da relação entre PMV e PPD.**



Fonte: Santos (2018).

### 2.1.2.3 Gráfico da zona de conforto para escritórios

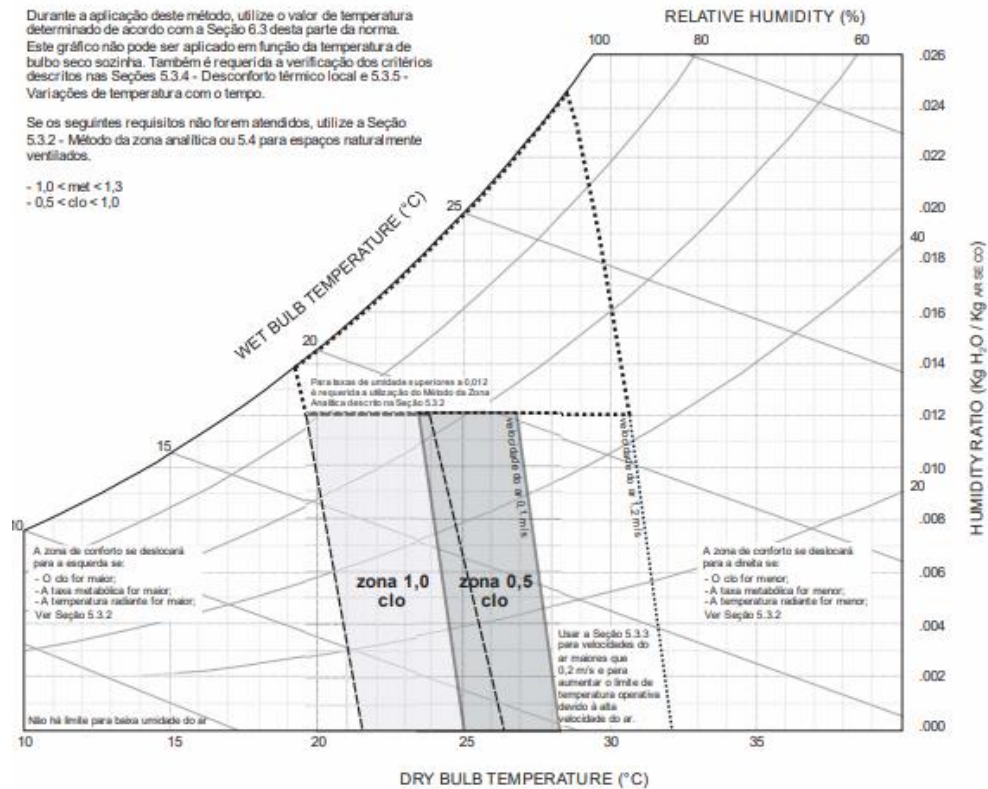
O método gráfico, como o nome indica, é uma maneira simples de o usuário representar graficamente a faixa de fatores (ambientais e pessoais) de conforto térmico que pode resultar em um ambiente térmico confortável para o ocupante representativo. Este método é baseado nos limites estabelecidos para o PMV/PPD de certo ambiente interno, e consiste em, principalmente, apresentar uma faixa de temperatura operativa aceitável, tendo definidas as demais variáveis pessoais, como isolamento da vestimenta e taxa metabólica (ASHRAE, 2010; ANDREASI; LAMBERTS; CÂNDIDO, 2009).

Diante disso, Santos (2018) demonstra que o método gráfico da zona de conforto é uma das principais técnicas para a avaliação de conforto térmico recomendadas pela ASHRAE (2010). Esta, de fato, sobre o referido método, declara que:

Para dados valores de umidade, velocidade do ar, taxa metabólica, e isolamento da vestimenta, uma zona de conforto pode ser determinada. A zona de conforto é definida nos termos de uma faixa de temperatura operativa que resulta em condições ambientais térmicas aceitáveis, ou em termos de temperatura do ar e temperatura radiante média que as pessoas consideram termicamente aceitáveis (ASHRAE, 2010).

Segundo ASHRAE (2016), o método gráfico é construído sobre a carta psicrométrica, que é um nomograma conhecido pela maioria dos engenheiros ou técnicos especialistas em HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado). Assim, a Figura 4 ilustra duas zonas de conforto – uma para um ocupante representativo com 0,5 clo de vestimenta, e outra para um ocupante representativo com 1,0 clo de isolamento, ambas para taxa metabólica de 1,1 met. O gráfico da Figura 4 relaciona umidade (eixo vertical) e temperatura operativa (eixo horizontal), e conforme varia (aumento ou diminuição) o isolamento da vestimenta ou taxa metabólica, a faixa de temperatura se deslocará para a esquerda ou para a direita. Vale ressaltar que a ASHRAE recomenda este método para ambientes típicos de escritórios com baixa velocidade do ar ( $< 0,2$  m/s) (ASHRAE, 2010; ABNT 2008).

**Figura 4 - Exemplos de zonas de conforto para baixa velocidade do ar.**



Quando o ambiente analisado possui velocidade do ar acima de 0,2 m/s, é recomendado o uso de um gráfico que relaciona velocidade do ar (eixo vertical) por temperatura operativa (eixo horizontal), cujas zonas de conforto são delimitadas por curvas obtidas através do modelo SET. O modelo SET - *Standard Effective Temperature* (Temperatura Efetiva Padrão) utiliza um modelo matemático termofisiológico para determinar a temperatura efetiva padrão propriamente dita. A qual é definida como a temperatura de bulbo seco de um imaginário ambiente isotérmico a 50 % de umidade relativa, no qual o ser humano vestido adequadamente para a atividade exercida, teria a mesma quantidade de umidade sobre a pele, e a mesma perda de calor pela pele quando comparado a um ambiente real analisado (ASHRAE, 2010; GAGGE, 1986; RUAS, 2001).

Historicamente, inicia-se com a formulação do Índice de Temperatura Efetiva proposto por Yaglow e Houghten em 1923. Tal índice se baseia em um nomograma que prevê a sensação de conforto térmico humano ao relacionar temperatura, umidade e velocidade do ar. Em 1932, Vernon e Warner propuseram a substituição da temperatura de bulbo seco pela temperatura de globo; tal correção ficou conhecida como Temperatura Efetiva Corrigida. Posteriormente, em 1971, ocorreram outras alterações, como a utilização da temperatura operativa, vigorando, então, o conceito da Nova Temperatura Efetiva (ET\*). Contudo, a ET\* possuía aplicação pouco

prática devido à complexidade de suas equações. Assim, surge a Temperatura Efetiva Padrão, inovando ao considerar os efeitos da atividade metabólica e do isolamento da vestimenta como valores correlacionados e padronizados (fixos) (SANTOS, 2018; FROTA; SCHIFFER, 2001; ARAÚJO, 2008; GAGGE, 1986).

No modelo SET as principais variáveis que impactam na sensação de conforto térmico são padronizadas (valores fixos), exceto a temperatura do ar (único parâmetro alterável) – a taxa metabólica = 1,0 met; o isolamento da vestimenta = 0,6 clo; a umidade relativa = 50 %; a velocidade do ar < 0,1 m/s; e a temperatura do ar é indefinida, sendo considerada igual a temperatura radiante média (ASHRAE 2010; FAN, 2015; PICKUP; DEAR, 1999). Tal temperatura a ser definida consiste na própria temperatura efetiva padrão (SET), porquanto Gagge (1986) apud Monteiro (2005), diz que primeiramente é preciso descobrir a quantidade de calor que o ocupante troca com o meio real medido, considerar este valor no cálculo do modelo SET (cujas demais variáveis estão padronizadas), para, enfim, determinar a temperatura efetiva padrão (SET).

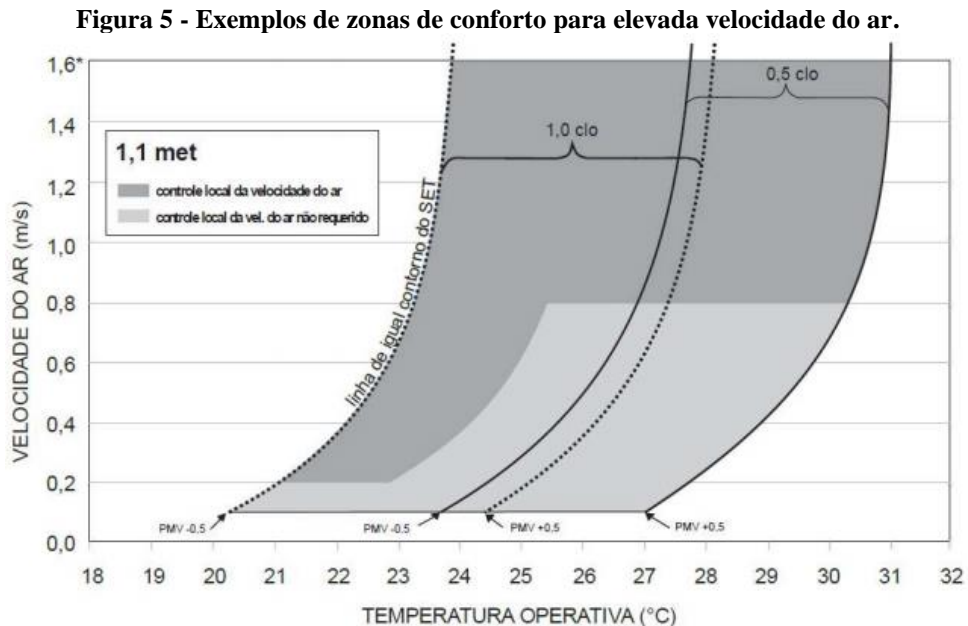
Auliciems e Szokolay (2007) sintetizam o conceito do modelo SET ao declarar que o mesmo fornece um índice (SET – temperatura efetiva padrão) que permite mensurar a equivalência entre o ambiente imaginário proposto pelo modelo SET com qualquer outra combinação de fatores ambientais, roupas e taxa metabólica de um ambiente real a ser avaliado. Vale ressaltar também a visão de Santos (2018), que, ao citar ASHRAE (2017), diz:

O índice SET converte qualquer combinação de variáveis ambientais e pessoais reais na temperatura do ambiente padrão imaginário, permitindo que os efeitos da velocidade do ar no conforto térmico sejam relacionados em uma ampla gama de valores de temperatura do ar, temperatura radiante e umidade (SANTOS, 2018).

A Figura 5 mostra as mesmas zonas de conforto da Figura 4 sendo analisadas, dessa vez, para maiores limites velocidades do ar. De fato, Zhang e Lin (2020) dizem que o modelo SET é recomendado para análise dos efeitos causados pela velocidade do ar no conforto térmico. Ainda, eles enfatizam que a ASHRAE 55 adota o modelo SET para avaliar os efeitos do resfriamento causados pela movimentação do ar para a sensação de conforto térmico humano.

A ASHRAE (2010) destaca que, inicialmente, para sua elaboração do gráfico da Figura 5, definiu-se a faixa aceitável de temperatura operativa baseada no intervalo  $-0,5 < PMV < +0,5$  para a velocidade do ar de 0,15 m/s. Em seguida, foi-se aumentando progressivamente apenas a velocidade do ar, e calculando reiteradamente a SET buscando mantê-la constante, variando,

portanto, a temperatura operativa. Diante disso, é possível notar que conforme aumenta a velocidade, a faixa aceitável de  $T_{op}$  se desloca para a direita.



### 2.1.3 Desconforto localizado

Em contraponto aos índices PMV e PPD que expressam a satisfação ou insatisfação térmica do corpo como um todo, o desconforto térmico local caracteriza-se quando determinadas áreas do nosso corpo estão em contato com uma zona onde se verifica que o fluxo de calor é especificamente elevado quando comparado com o resto do corpo. Esta discrepância, se for suficientemente acentuada, causa desconforto térmico, apesar de, globalmente, o ambiente ser aceitável. Ou seja, embora os ambientes apresentem níveis de conforto térmico geral compatíveis, o desconforto local é outro aspecto que deve ser considerado. Portanto, a análise de desconforto localizado nos ambientes, serve para avaliar os fatores que não atingem o corpo como um todo, mas são capazes de gerar incômodo aos ocupantes (COELHO, 2014; FERNANDES, 2014; CORRÊA; MALISKA, 2010; BAGIOTTO, 2018; BRITO, 2017).

Vale destacar que, a condição de neutralidade térmica ou de verificação do balanço térmico é condição necessária, mas não suficiente para que a pessoa se encontre em conforto térmico. Já que a pessoa pode se encontrar com o saldo nulo e estar sujeita a algum tipo de desconforto localizado. Neutralidade térmica, para Barbiero (2004), ao citar Fange (1972), é a condição na qual uma pessoa não sinta nem calor nem frio em relação ao ambiente térmico em que se encontra. Assim, Coutinho (2009) apud Lucas e Silva (2017), explana que o indivíduo

não pode estar sendo submetido a nenhum desconforto localizado, ou seja, nenhuma parte do corpo pode estar submetida a uma fonte constante ou intermitente de fluxos térmicos. Outro fator é que as pessoas que desenvolvem atividades sedentárias estão mais suscetíveis ao desconforto localizado do que as pessoas que exercem atividades mais intensas (ANDREASI, 2003; PEREIRA et al., 2012; OLIVEIRA, 2015; VOLTANI, 2009).

Por fim, conclui-se que desconforto térmico local ocorre devido a fatores que alteram a uniformidade no ambiente; e assim como o PPD, também é avaliado através da percentagem de pessoas insatisfeitas (FELIX et al., 2012; LOUREIRO, 2017). E segundo Pereira et al. (2012), Santos (2018), Correia (2014), e Ferreira (2019), desconforto localizado pode ser causado por:

- Convecção localizada devido a correntes de ar indesejadas;
- Gradiente vertical de temperatura do ar entre as diferenças nas temperaturas registradas à altura da cabeça e à altura do tornozelo dos usuários;
- Assimetria da temperatura radiante devido às superfícies frias ou quentes, ou devido à radiação solar direta;
- Pisos quentes ou frios, devido à temperatura superficial do piso.

#### *2.1.3.1 Contato com piso frio ou quente*

Quando a temperatura do piso se encontra excessivamente quente ou fria, os ocupantes podem se sentir desconfortáveis na região de seus pés, cujo desconforto pode ser mais ou menos elevado dependendo do tipo de calçado que utilizam (LOUREIRO, 2017; VIDOR, 2018). No contato com pisos aquecidos ou arrefecidos, a temperatura do piso é normalmente muito influenciada por características construtivas das edificações (isolamento do piso, camada de contrapiso, materiais de construção, etc.). Quando as pessoas encontram-se calçadas normalmente, o material de acabamento do piso não é importante, porém em locais onde normalmente as pessoas encontram-se descalças, esse item já se torna significativo (NDEMBO, 2018; LAMBERTS, 2014).

#### *2.1.3.2 Gradiente vertical de temperatura do ar*

O ser humano gosta de se sentir bem a nível térmico, e para isso o seu corpo deve estar todo à mesma temperatura (GONÇALVES, 2017). Na maioria dos ambientes das edificações,

a temperatura do ar geralmente aumenta com a altura em relação ao piso (NDEMBO, 2018). Tal diferença de temperatura vertical do ar entre a cabeça e os tornozelos pode causar desconforto (SILVA, 2013). Sendo que geralmente tem-se temperatura mais elevada ao nível da cabeça e mais baixa ao nível dos pés; embora o corpo, como um todo, encontre-se em neutralidade térmica (RIBEIRO, 2017; FELIX et al., 2012). Cabe destacar que, segundo Coutinho (2014), as pessoas são mais tolerantes ao desconforto térmico quando a cabeça estiver mais fria.

### 2.1.3.3 *Convecção localizada*

Convém ressaltar que quando se analisa a influência da velocidade do ar no conforto térmico, encontra-se dificuldade de se alcançar no ambiente velocidade do ar uniforme. As variações na velocidade do ar num ambiente são comuns, e a sua magnitude depende do tipo e da distribuição do sistema de ventilação utilizado. Entretanto, num sistema de ventilação, o escoamento turbulento da movimentação do ar, gera por vezes zonas de arrefecimento local no corpo humano, designado de resfriamento convectivo local. O termo conhecido para esse fenômeno é “*draught*”, que consiste no fluxo de ar que provoca a sensação de desconforto pelo frio em parte do corpo (correntes de ar). Essas correntes de ar têm sido identificadas como um dos fatores que mais causam desconforto em escritórios (RUAS, 1999; CORREIA, 2014; COUTINHO, 2014; NDEMBO, 2018).

Ruas (1999), afirma que é importante lembrar, quando da especificação da velocidade do ar para um ambiente, que o conforto térmico resulta de determinadas combinações de variáveis pessoais e ambientais. Assim, se velocidades elevadas do ar podem ser impertinentes para baixas temperaturas do ar, Vecchi, Cândido e Lamberts (2013) dizem que em climas quentes e úmidos, é sabido que a ventilação exerce um papel importante no conforto, promovendo as trocas térmicas através da convecção e evaporação entre o corpo e o ambiente. Enfim, Felix et al. (2012) apresenta os principais parâmetros envolvidos na convecção localizada, e a atuação desta sobre o usuário:

Quando ocorre um resfriamento localizado e indesejado no corpo, devido ao movimento do ar, há uma sensação de corrente de ar, que depende da velocidade do ar, da temperatura do ar, da intensidade de turbulência, da atividade e da vestimenta das pessoas. A sensibilidade a correntes de ar é maior em partes do corpo descobertas, especialmente na região da cabeça, pescoço e ombros e na região dos pés, tornozelos e pernas, e em atividade leve ou sedentária. Assim, a ocorrência de correntes de ar deve ser analisada principalmente na altura da cabeça e tronco das pessoas (FELIX et al., 2012).

#### *2.1.3.4 Assimetria da temperatura radiante*

A radiação térmica em torno do ocupante pode não ser uniforme, devido tanto a superfícies frias ou quentes, quanto à radiação solar direta. Essa assimetria pode causar desconforto local e reduzir a aceitabilidade térmica do ambiente (FELIX et al., 2012). A assimetria da temperatura radiante é dada pela diferença entre as temperaturas radiantes planas de duas faces opostas em relação a uma pessoa entre elas (FANTICELE, 2011). Segundo Voltani (2009), as pessoas são mais sensíveis ao desconforto devido à assimetria radiante oriundas de forros quentes e paredes frias. E principalmente de forros quentes, visto que Ramos, Pitarma e Carvalho (1998) revelam que os resultados de um estudo feito por Olesen (1985) mostram que as pessoas são mais sensíveis ao efeito da assimetria da radiação na direção vertical do que na horizontal.

Além disso, convém ressaltar que o cálculo para a assimetria da temperatura radiante depende das características e propriedades da superfície que está emitindo a radiação, como fator de forma, área, emissividade e temperatura. Ademais, a assimetria da temperatura radiante pode existir devido a superfícies quentes ou frias como paredes, tetos, equipamentos, janelas, entre outros. Tal diferença de temperatura fomenta uma assimetria térmica no corpo do ser humano, ficando este com uma parte de seu corpo mais quente ou mais fria que as restantes, provocando-lhe uma sensação de insatisfação tanto maior quanto maior for essa assimetria (COUTINHO, 2014; RAMOS; PITARMA; CARVALHO, 1998; COELHO, 2014). Finalmente, Pinto e Westphal (2019) falam da ocorrência de assimetria radiante próximo a envoltórias transparentes de edificações:

Além disso, a proximidade do usuário com a fachada envidraçada pode ocasionar desconforto térmico localizado por assimetria de radiação. Isto pois, uma fachada envidraçada pode agir tanto como uma superfície fria, quando não está recebendo radiação, ao mesmo tempo em que funciona como um irradiador de calor, quando aquecida (PINTO; WESTPHAL, 2019).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

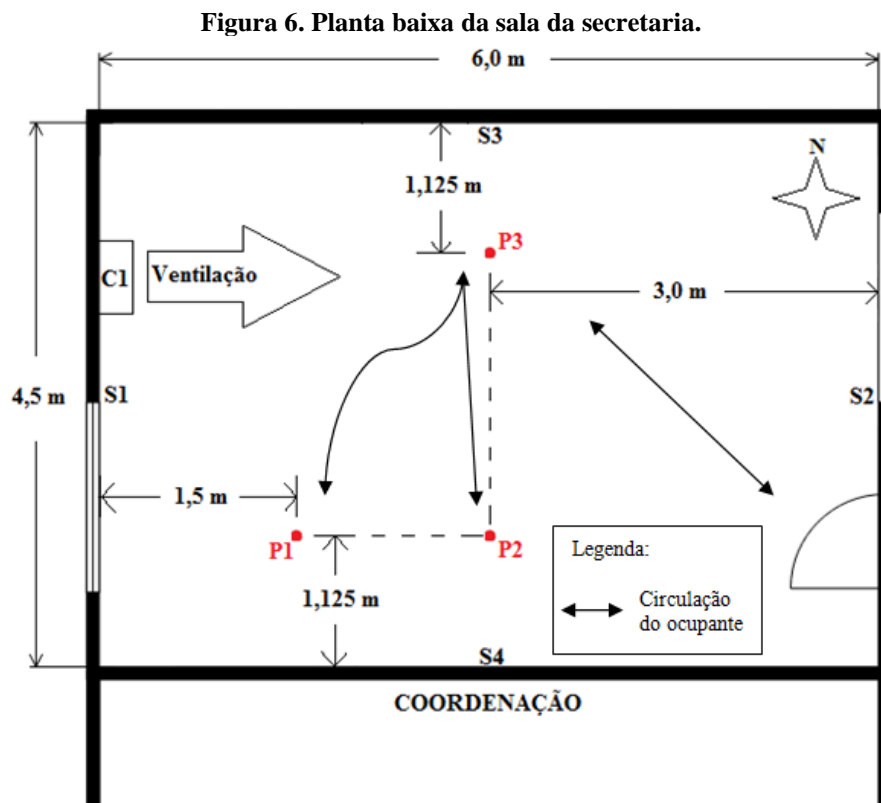
Com base na ABNT NBR 16401-2 (2008) acerca da análise de conforto térmico em ambientes ocupados, especificamente direcionada a um ambiente tipicamente de escritório, foi submetido ao exame de conforto térmico ambiental a sala da secretaria da EMEF “Prof. Darcy Ribeiro”, localizada na Avenida Perimetral, s/n, bairro Belém, Tucuruí/PA. Cujos horários de expediente vão desde o turno da manhã até à noite, sob o regime ininterrupto de revezamento. A motivação para a seleção da referida sala baseou-se, a princípio, nas eventuais queixas de insatisfação por parte dos ocupantes em relação às condições de conforto térmico do ambiente. Tal desconforto, segundo eles, decorre da sensação subjetiva de “frio”.

Para a apreciação desses fatos, foi observado majoritariamente o que dispõe a norma brasileira ABNT NBR 16401-2:2008 e, subsidiariamente, outras normas que versam sobre o tema, tais como as normas internacionais ANSI/ASHRAE Standard 55/2010, ISO 7730/2006 e ISO 7726/1998. Nestes termos, foram adotados os métodos do PMV (Voto Médio Predito) e PPD (Percentual Predito de Insatisfeitos), da determinação das zonas de conforto para baixas e elevadas velocidades do ar, e da avaliação de desconforto localizado.

Para tanto, realizou-se medições das variáveis do ar do ambiente interno da secretaria através de instrumentos. Antes, vale mencionar que, além de uma forma de simplificação, o motivo que levou a ser reservado apenas um dia, em quatro horários diferentes, para a aquisição dos dados da pesquisa, consistiu do ambiente da secretaria já contemplar um específico sistema mecânico de condicionamento de ar. E isso, atrelado às características arquitetônicas e às condições de utilização do local, considerando ainda que o clima da região não varie diametralmente ao longo do ano, faz com que as variáveis ambientais internas mantenham certo padrão, com amplitudes de variações moderadas.

Na Figura 6 tem-se destacado em vermelho os três pontos escolhidos dentro do ambiente para a aferição das variáveis, dentre os quais dois representam os locais mais ocupados pelos usuários – P1 e P2 –, uma vez que nestes pontos encontram-se os dois computadores da secretaria. Por fim, selecionou-se P3, que devido ser onde ocorre maior fluxo de ar proveniente do equipamento de condicionamento de ar, pensou-se em verificar o grau de desconforto por convecção localizada. Considerando ainda que por conta do layout da sala, é sempre preciso que os funcionários passem por P3 para terem acesso aos Pontos 1 e 2.

Em uma exposição de caráter genérico, a planta baixa da Figura 6 consiste em um recinto de 27 m<sup>2</sup> que é formado por quatro paredes de concreto com acabamentos comuns, cobertura composta por telhas de barro e forro PVC, e piso de concreto revestido com material cerâmico. As paredes S1, S2 e S3 estão expostas ao ambiente externo, ao passo que S4 tem ao lado a sala da coordenação que não é um ambiente condicionado. Especificamente, em S2 encontra-se uma porta de madeira (2,10m x 0,8m) e uma janela de vidro (1,5m x 1,2m). Já S1 possui uma janela de vidro (1,5m x 0,8m) e comporta o aparelho condicionador de ar (C1), localizado a 1 m de S3 e 2,7 m do piso. As especificações técnicas para o aparelho condicionador de ar constam no Quadro 3. Vale destacar que nenhuma parede da edificação está sujeita à exposição direta do sol, e que o pé-direito da construção é de 3 m.



Fonte: Autoria própria.

**Quadro 3. Especificações técnicas do condicionador de ar.**

Tensão / Frequência	220 V / 60 Hz
Capacidade	12.000 Btu/h
Corrente	5,90 A
Consumo	1270 W
Vazão de ar	1800 m <sup>3</sup> /h
Gás refrigerante	R22

Fonte: Autoria própria.

A coleta de dados ocorreu dia 23/01/2021 em Tucuruí/PA, nos horários de 15 h, 16 h, 17 h e 20 h, exceto P3 que só foi examinado exclusivamente nos horários de 17 h e 20 h (neste dia, as características climáticas na cidade para cada horário podem ser vistas na Tabela 3). Na verdade, as medições de todas as variáveis sobre cada Ponto levaram em média 20 minutos. Isso significa que se às 15 h iniciou-se o processo de aferição para o P1, então o processo do P2 começou somente às 15 h 20 min. Enfim, às 16 h iniciou-se um novo ciclo de medições, e assim sucedeu-se até a última série (a saber, derradeiro ciclo: P1 – 20 h; P2 – 20 h 20 min; P3 – 20 h 40 min).

Dito isso, vale enfatizar que, para a finalidade de organização dos dados, as informações e resultados referentes aos Pontos foram considerados nos horários de início dos ciclos. Além disso, mais cedo, às 14 h, o aparelho condicionador de ar foi acionado para iniciar o processo de condicionamento do ambiente às suas características típicas de uso.

**Tabela 1. Tempo<sup>1</sup> na cidade de Tucuruí/PA<sup>2</sup> durante as medições.**

HORÁRIO	p <sub>atm</sub> [mb]	RG [kJ/m <sup>2</sup> ]	TBS [°C]	TO [°C]	UR [%]	VENTO [m/s]		
						MÉDIA	MÁX.	DIREÇÃO
14 h	995,8	981,30	26,0	22,4	81	1,0	4,1	56°
15 h	995,4	1603,46	27,9	23,8	78	0,4	3,5	16°
16 h	994,7	2215,98	28,8	22,9	70	1,9	5,4	46°
17 h	993,9	3401,00	29,0	25,5	68	1,2	5,4	44°
18 h	993,1	2784,41	29,6	21,6	62	2,5	5,9	51°
19 h	992,5	2041,70	29,1	21,7	65	1,6	5,9	54°
20 h	992,2	839,63	29,2	21,9	65	2,9	4,6	65°

Fonte: INMET, 2021<sup>3</sup>.

Adverte-se que, apesar do equipamento permitir ao usuário exercer controles sobre a velocidade do ar de saída, a temperatura, e entre outros *setpoints*, é sabido que os usuários não costumam se valer dessa prerrogativa, ou seja, o equipamento mantém-se com a mesma configuração, independentemente do horário do dia ou período do ano. Portanto, mudanças de *setpoints* controladas pelos usuários foram desconsideradas para a finalidade geral desta análise.

<sup>1</sup> Não houve precipitação total (mm) em nenhum desses horários.

<sup>2</sup> Cidade/UF: Tucuruí/PA; Estação: A229; Latitude: -3,8228; Longitude: 49,6749; Altitude: 137,94.

<sup>3</sup> INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: INMET, 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 8 fev. 2021.

Quanto às variáveis pessoais, considerou-se um ocupante representativo que, em primeira instância, para os Pontos 1 e 2, possui taxa metabólica em função da atividade de alguém sentado digitando em computador; e para o P3, ponderou-se o metabolismo de alguém que esteja caminhando pelo escritório em raras ocasiões. Portanto, ainda assim será considerada uma taxa metabólica relativamente baixa. Este fato de caminhar, inclusive, provoca redução do isolamento da vestimenta porque geralmente reduz a camada de ar entre a pele e o tecido em determinadas partes do corpo, que serve para dificultar a perda de calor por convecção. Além disso, ao se movimentar pelo ambiente, o indivíduo se sujeita a geração de velocidade relativa do ar.

Em segundo plano, o isolamento da vestimenta compreendeu inicialmente ao somatório das resistências causadas pelas seguintes peças ( $I_{clu}$ ): calça fina, sutiã, calcinha, meia de algodão média, sapatos, e camisa manga curta. Na sequência, foi realizado outro diagnóstico, dessa vez com a adição de um colete grosso (pois conforme relatado por um usuário, o mesmo utiliza às vezes um casaco para se aquecer). Destacando, sobretudo, que foram acrescentados os efeitos de outros fatores – quando aplicáveis -, como isolamento da cadeira, velocidade relativa do ar ao caminhar, bem como a implicação do isolamento dinâmico da vestimenta.

### 3.2 MEDIÇÃO DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A ABNT (2008) traz recomendações para as faixas de medição e faixas de precisão que os instrumentos de medição das variáveis ambientais devem possuir, as quais constam na Tabela 2. Logo, conclui-se é importante seguir a precisão e a faixa de medição dos instrumentos conforme os requisitos da referida tabela. Todavia, os instrumentos utilizados neste trabalho na maioria das ocasiões não atenderam totalmente tais especificações, mas puderam ser usados satisfatoriamente.

**Tabela 2. Requisitos básicos para os instrumentos de medição.**

Variável Ambiental	Faixa de Medição	Acuracidade ( $\pm$ )
Temperatura do ar [ $^{\circ}$ C]	10 a 40	0,2
Temperatura radiante média [ $^{\circ}$ C]	10 a 40	1
Temperatura superficial [ $^{\circ}$ C]	0 a 50	1
Umidade relativa do ar [%]	25 a 95	5
Velocidade do ar [m/s]	0,05 a 2,0	0,05

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

### 3.2.1 Medição da Temperatura do Ar (TBS)

Para a temperatura do ar, tomou-se como referência a Temperatura de Bulbo Seco (TBS). E para realizar sua medição, utilizou-se um sensor Termopar Tipo K<sup>4</sup>, protegido com uma barreira improvisada feita de papelão e papel alumínio, no intuito de minimizar as influências de radiação sobre o sensor. Este sendo acoplado um Termo-Higroanemômetro<sup>5</sup> para computação digital das repostas do mesmo termopar.

Todavia, é importante frisar que apesar das faixas de medição tanto do sensor interno (termo-higroanemômetro) quanto do sensor tipo K estarem em conformidade com a exigência da Tabela 2, as exatidões, de outro modo, contrariaram a mesma, uma vez que é exigida a acuracidade mínima de  $\pm 0,2$ . Como agravante disso soma-se o fato da exatidão do próprio Termopar tipo K também ser superior ao mínimo exigido.

Enfim, para registrar o valor de temperatura de bulbo seco do ar, procurou-se por um valor médio tanto do ponto de vista temporal quanto do espacial. No tocante à média temporal, desempenharam-se medições por períodos ininterruptos de 1 minuto, contado a partir de uma aparente estabilização na variação de temperatura exibida no mostrador, seguindo-se pela obtenção da média aritmética entre o maior e o menor valor de temperatura aferida.

Depois de atribuir as médias temporais para as três alturas diferentes sobre um mesmo ponto, conforme o Quadro 4, cujos valores dependeram da posição do usuário no espaço (sentado ou em pé). No fim, calculou-se também uma média aritmética, dessa vez entre os valores das temperaturas anotados para cada uma das três alturas. Portanto, registrou-se um valor médio de temperatura de bulbo seco do ar que é função tanto da média temporal quanto da média espacial. Este valor representou uma dimensão relevante para determinação do índice PMV e da Temperatura Operativa, por exemplo.

**Quadro 4. Alturas de medição da temperatura do ar [m].**

Indivíduos sentados	Indivíduos em pé
0,1	0,1
0,6	1,1
1,1	1,7

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

<sup>4</sup> Termopar Tipo K Chromel(+)-Alumel(-) Universal Minipa MTK-01. Comprimento: 1170 mm; Faixa de medição: -40 a 204 °C; Exatidão:  $\pm 2,2$  °C.

<sup>5</sup> Termo-Higroanemômetro-Luxímetro Digital Lutron LM8000A. Dimensões do instrumento: (156x60x33) mm; Peso: 160 g; Faixa de medição: -100 a 1300 (tipo K) e 0 a 50 °C (sensor interno); Resolução: 0.1 °C (tipo K) e 0.1 °C (sensor interno); Exatidão:  $\pm 1$  °C + 1 % da Leitura (tipo K) e  $\pm 1.2$  °C (sensor interno).

### 3.2.2 Medição da Umidade Relativa do Ar

O instrumento usado para examinar a umidade relativa do ar foi o mesmo usado para computar os dados do Termopar Tipo K, tendo em vista que o instrumento também funciona como um higrômetro mediante um sensor de umidade<sup>6</sup>.

A faixa de medição do instrumento satisfaz a exigência da Tabela 2, bem como sua acuracidade. Porém, tal exatidão é garantida somente na faixa de 10-70 %, e não é informado outro valor para quando a umidade relativa for superior a 70 %. Enfim, o processo para a aquisição do valor médio de umidade relativa do ar obedeceu aos mesmos ritos e critérios do procedimento seguido para obtenção da temperatura de bulbo seco do ar.

### 3.2.3 Medição da Velocidade do Ar

Novamente utilizou-se o aparelho Termo-Higroanemômetro-Luxímetro Digital, mais especificamente o anemômetro de palhetas<sup>7</sup> integrado a ele. Quanto à faixa de medição e à precisão do instrumento, houve relativamente grande divergência com aquilo que solicita ABNT (2008), visto que os mínimos requisitados são 0,05-2 m/s e  $\pm 0,05$  (Tabela 2), respectivamente.

O procedimento para adquirir a velocidade média também correspondeu ao mesmo tomado para a obtenção da temperatura média do ar e da umidade relativa do ar, salvo o período de medição que neste caso foi de 3 minutos. Ademais, vale destacar que foi preciso definir a direção principal do fluxo de ar, e, para isso, um simples artifício gerador de filamento de fumaça deu ajuda ao desígnio.

### 3.2.4 Medição da Temperatura de globo ( $T_g$ )

Para este intento foi empregado um termômetro de globo negro<sup>8</sup> com 7,5 cm de diâmetro. Percebe-se que não correspondeu à dimensão sugerida pela ABNT (2008), a saber,

---

<sup>6</sup> Sensor de umidade do ar. Faixa de medição: 10 a 95 % UR; Resolução: 0.1 % UR; Exatidão:  $\pm 4$  % UR (10 a 70 % UR).

<sup>7</sup> Sensor de velocidade do ar. Faixa de medição: 0.4 a 30 m/s; Resolução: 0.1 m/s; Exatidão:  $\pm 3$  % fundo de escala (0 a 20 m/s).

<sup>8</sup> Termômetro de Globo Politerm POL-2000. Dimensões do instrumento: (280x75x75) mm; Diâmetro do globo: 75 mm; Peso: 140 g; Faixa de medição: 0 a 80 °C; Resolução: 0.1 °C; Exatidão:  $\pm 1$  °C (15 a 40 °C) e  $\pm 1,5$  °C (restante).

de 15 cm. Contudo, é admitida a aplicação de modelo diverso, visto que equações para cálculo da TRM que são funções do diâmetro do globo escolhido.

O referido termômetro de globo negro é especializado em aferir a temperatura de globo, e esta, por sua vez, foi usada para a determinação da temperatura radiante média. Como mencionado no parágrafo anterior, existem equações para encontrar o valor da TRM, e nessas equações, a temperatura de globo foi fundamental. Convém ressaltar que a escolha correta da equação dependeu da magnitude dos coeficientes de troca de calor por convecção natural e forçada do ar da superfície do globo.

O termômetro de globo empregado possuiu faixa de medição conforme a Tabela 2 requer, assim como sua precisão também a satisfaz, entretanto somente dentro do intervalo de 15-40 °C, porque o restante fora dessa faixa passa a ser medido com uma exatidão de  $\pm 1,5$  °C.

O processo de medição exigiu mais atenção no que tange à inércia térmica do termômetro de globo. Por esta razão, ele foi inserido no ambiente uma hora antes do início das medições (isto é, às 14 h). Ainda assim, o termômetro de globo permaneceu por 20 minutos em cada um dos três pontos durante as medições no interior da sala - visto que esse era o tempo médio gasto para a medição de todas as variáveis em determinado ponto – e, ao final, anotou-se a temperatura de globo instantânea. Ademais, referente à localização espacial do instrumento, o mesmo encontrava-se à altura de 0,6 m acima do piso nos Pontos 1 e 2, e de 1,1 m no Ponto 3.

### **3.2.5 Medição da Temperatura Superficial das Envoltórias**

Para definir o nível de desconforto localizado devido à assimetria da temperatura plana radiante e devido ao contato com pisos quentes ou frios, foram medidas as temperaturas das paredes, do teto e do piso, e julgou-se conveniente adotar um único valor médio de temperatura representativo de cada superfície.

Quanto ao procedimento adotado, utilizou-se o mesmo sensor para medição da temperatura do ar. Contudo, procurou-se mantê-lo em contato direto com a superfície, isolando-o completamente de contato com o ar, evitando trocas de calor por efeitos convectivos do ar. Em relação ao tempo de medição, foram exercidas aferições por períodos ininterruptos de 1 minuto, contados a partir de uma aparente estabilização na variação de temperatura exibida no mostrador, seguindo-se pela aquisição da média aritmética entre os valores máximos e mínimos encontrados.

Finalmente, como o sensor usado foi o mesmo para medição da temperatura de bulbo seco do ar, observa-se que foi atendida a faixa de medição estabelecida pela Tabela 2, mas a exatidão deixou a desejar somente por causa da necessidade de se adicionar + 1 % do valor da leitura à precisão fixada de  $\pm 1$  °C.

### 3.3 PREPARAÇÃO DOS DADOS

As tabelas abaixo apresentam os valores das variáveis ambientais medidos através dos instrumentos de medição para os horários de 15 h, 16 h, 17 h e 20 h, respectivamente. Vale ressaltar que velocidades do ar abaixo de 0,1 m/s não puderam ser medidas, devido a incapacidade do sensor.

**Tabela 3. Variáveis ambientais medidas às 15 h.**

Variáveis	P1	P2
$T_{ar}$ [°C]	23,3	23,3
$UR$ [%]	41,6	41,9
$v_{ar}$ [m/s]	< 0,1	< 0,1
$T_g$ [°C]	23,9	23,6

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 4. Variáveis ambientais medidas às 16 h.**

Variáveis	P1	P2
$T_{ar}$ [°C]	23,0	22,7
$UR$ [%]	42,1	41,8
$v_{ar}$ [m/s]	< 0,1	< 0,1
$T_g$ [°C]	23,7	23,4

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 5. Variáveis ambientais medidas às 17 h.**

Variáveis	P1	P2	P3
$T_{ar}$ [°C]	22,3	22,1	22,3
$UR$ [%]	41,5	40,5	43,1
$v_{ar}$ [m/s]	< 0,1	< 0,1	0,4
$T_g$ [°C]	22,9	22,9	21,9

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 6. Variáveis ambientais medidas às 20 h.**

Variáveis	P1	P2	P3
$T_{ar}$ [°C]	21,5	21,1	21,2
$UR$ [%]	41,1	40,9	43,3
$v_{ar}$ [m/s]	< 0,1	< 0,1	0,4
$T_g$ [°C]	22,4	22,1	20,5

Fonte: Autoria própria.

### 3.3.1 Cálculo da temperatura radiante média (TRM)

Nesse caso, empregou-se a eq.(2) quando o valor do coeficiente convectivo do globo por convecção natural da eq.(1) predominou sobre o coeficiente por convecção forçada da eq.(3) ( $h_{gn} > h_{gf}$ ). No caso contrário, tomou-se a eq.(4).

$$h_{gn} = 1,4 \sqrt[4]{\frac{|\Delta T|}{D}} \quad (1)$$

$$TRM = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + (0,4 \times 10^8)(T_g - T_{ar})^4 \sqrt{|T_g - T_{ar}|} - 273} \quad (2)$$

$$h_{gf} = 6,3 \frac{v_{ar}^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (3)$$

$$TRM = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + (2,5 \times 10^8)(T_g - T_{ar})v_{ar}^{0,6} - 273} \quad (4)$$

Portanto, esse método foi aplicado e foram definidos os valores da TRM conforme apresenta a Tabela 7:

**Tabela 7. Temperatura radiante média (TRM) [°C].**

Horários	P1	P2	P3
15 h	24,1	23,7	-
16 h	23,9	23,6	-
17 h	23,1	23,2	21,3
20 h	22,7	22,5	19,4

Fonte: Autoria própria.

### 3.3.2 Estimativa das variáveis pessoais

Nesta ocasião, de posse finalmente dos valores de TRM, restou determinar os índices de Taxa Metabólica (M) e de Isolamento da Vestimenta ( $I_{cl}$ ). Para tanto, recorreu-se às tabelas disponíveis nos Anexos A e B, respectivamente. E com base nas considerações realizadas, sabe-se que nos Pontos 1 e 2 o ocupante permanece sentado, enquanto que em P3 ele encontra-se de pé. Todavia, essas informações são insuficientes para estabelecer o nível de taxa metabólica inerente ao processo, porque sobretudo é preciso deliberar sobre a atividade que vem sendo exercida pelo indivíduo.

Logo, levando em conta os Pontos 1 e 2, é notório que são os lugares da sala onde os usuários permanecem pela maior parte do tempo, visto que compreendem às localizações dos computadores da secretaria. No uso destes equipamentos, eles passam a maior parte do tempo digitando, e de acordo com essa atividade de escritório, o valor de “M” equivale a 1,1 met ou 65 W/m<sup>2</sup>. Continuando, em P3 o ocupante está a caminhar com pouca frequência, assim, considerou-se a taxa metabólica igual a 1,3 met ou 75 W/m<sup>2</sup>. No entanto, o ato de caminhar implica na geração de velocidade relativa do ar, e essa parcela foi acrescentada ao valor total da velocidade média do ar, calculado pela eq.(5) (onde “M” é a taxa metabólica em W/m<sup>2</sup>):

$$v_{ar,r} = 0,0052(M - 58) \quad (5)$$

Dessa vez, para definição do isolamento da vestimenta, adotou-se duas situações diferentes, isto é,  $I_{cl,1}$  para o conjunto usual de vestimenta, e  $I_{cl,2}$ , que representa o mesmo conjunto usual, porém com a adição de mais uma peça específica. Cada peça de roupa do conjunto habitual “ $I_{cl,1}$ ” está representada no Quadro 5 com sua respectiva resistência térmica; tal conjunto é composto por peças que, individualmente, oferecem as seguintes resistências:

**Quadro 5. Isolamento de peças de vestimenta ( $I_{clu}$ ) [clo].**

Sutiã	0,01
Calcinha	0,03
Meias médias (algodão)	0,03
Sapatos	0,02
Calça (fina)	0,15
Camisa manga curta esportiva (estilo pólo)	0,17
<b>TOTAL (<math>I_{cl,1}</math>)</b>	<b>0,41</b>

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

Contudo, há relato de um usuário que acrescenta o uso de um colete (grosso) em certas ocasiões para se aquecer, e tal colete apresenta resistência de  $I_{clu} = 0,17 \text{ clo}$ . Assim, o isolamento da vestimenta passou a ter o valor total de 0,58 clo. Ainda, somou-se a este valor a parcela de 0,01 clo, em virtude da adição típica à vestimenta quando o usuário está sentado em uma cadeira com características aproximadas de um banco de madeira. Finalmente, concluiu-se que o valor de  $I_{cl,2}$  é igual a 0,59 clo.

Outro caso relevante referiu-se aos efeitos de redução do isolamento da vestimenta quando o indivíduo está a caminhar pelo ambiente, e isso ocorre em P3. Logo, para estimar uma correção adequada para essa situação, foi utilizada a seguinte equação:

$$I_{cl,ativo} = I_{cl} \times [0,6 + (0,4/M)] \quad 1,2 \text{ met} < M < 2,0 \text{ met} \quad (6)$$

A Tabela 8 apresenta os valores de isolamento da vestimenta estimados para os três pontos de medição (P1, P2 e P3). Onde  $I_{cl,1}$  representou o conjunto comum de vestimenta utilizado pelos funcionários, e  $I_{cl,2}$  consistiu no conjunto comum com a adição do colete grosso. Percebe-se que em P3 as resistências são menores devido à redução do isolamento pelo efeito de caminhar, estimada pela eq.(6).

**Tabela 8. Isolamento da vestimenta ( $I_{cl}$ ) [clo].**

Índice	P1	P2	P3
$I_{cl,1}$	0,41	0,41	0,37
$I_{cl,2}$	0,59	0,59	0,53

Fonte: Autoria própria.

### 3.4 OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE CONFORTO

#### 3.4.1 PMV e PPD

##### 3.4.1.1 Dados de entrada

Neste momento, foram relacionados nas tabelas abaixo os dados de entrada para a avaliação do PMV e, conseqüentemente, do índice PPD. Antes, deve-se justificar que em virtude de o instrumento não possuir sensibilidade suficiente para medir velocidades abaixo de 0,1 m/s, não foi possível aferir velocidades inferiores. Contudo, a velocidade do ar foi considerada razoavelmente igual 0,1 m/s em P1 e P2.

**Tabela 9. Dados de entrada para o PMV às 15 h.**

Variáveis	P1	P2
$T_{ar}$ [°C]	23,3	23,3
$UR$ [%]	41,6	41,9
$v_{ar}$ [m/s]	0,1	0,1
$TRM$ [°C]	24,1	23,7
$M$ [ $W/m^2$ ]	65	65
$I_{cl,1}/I_{cl,2}$ [clo]	0,41/0,59	0,41/0,59

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 10. Dados de entrada para o PMV às 16 h.**

Variáveis	P1	P2
$T_{ar}$ [°C]	23,0	22,7
$UR$ [%]	42,1	41,8
$v_{ar}$ [m/s]	0,1	0,1
$TRM$ [°C]	23,9	23,6
$M$ [ $W/m^2$ ]	65	65
$I_{cl,1}/I_{cl,2}$ [clo]	0,41/0,59	0,41/0,59

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 11. Dados de entrada para o PMV às 17 h.**

Variáveis	P1	P2	P3
$T_{ar}$ [°C]	22,3	22,1	22,3
$UR$ [%]	41,5	40,5	43,1
$v_{ar}$ [m/s]	0,1	0,1	0,49
$TRM$ [°C]	23,1	23,2	21,3
$M$ [ $W/m^2$ ]	65	65	75
$I_{cl,1}/I_{cl,2}$ [clo]	0,41/0,59	0,41/0,59	0,37/0,53

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 12. Dados de entrada para o PMV às 20 h.**

Variáveis	P1	P2	P3
$T_{ar}$ [°C]	21,5	21,1	21,2
$UR$ [%]	41,1	40,9	43,3
$v_{ar}$ [m/s]	0,1	0,1	0,49
$TRM$ [°C]	22,7	22,5	19,4
$M$ [W/m <sup>2</sup> ]	65	65	75
$I_{cl,1}/I_{cl,2}$ [clo]	0,41/0,59	0,41/0,59	0,37/0,53

Fonte: Autoria própria.

### 3.4.1.2 Efetivação do cálculo mediante software livre

Na obtenção dos índices PMV e PPD, utilizou-se o *software* livre presente no *site* da Universidade de Lund<sup>9</sup>, baseado na ISO 7730. A Figura 7 apresenta a interface disponível ao usuário, na qual tem-se duas seções de interação. Primeiramente, há sete lacunas para inserção dos valores das variáveis de conforto térmico. Então, depois de inseridos os dados de entrada, foi selecionada a opção “CALCULAR”. Ao final, na última seção, na parte inferior da Figura 7, foi possível visualizar os resultados nas duas lacunas reservadas a exibição dos resultados, uma para o índice PMV, e outra para o índice PPD.

**Figura 7 - Interface do software da Universidade de Lund.**

#### Cálculo de PMV e PPD

<input type="text" value="65"/>	M (W / m2), Produção de energia metabólica (58 a 232 W / m2)
<input type="text" value="0"/>	W (W / m2), Taxa de trabalho mecânico, (normalmente 0)
<input type="text" value="22"/>	Ta (C), temperatura do ar ambiente (10-30)
<input type="text" value="22"/>	Tr (C), temperatura radiante média (muitas vezes perto da temperatura do ar ambiente)
<input type="text" value="0.1"/>	v (m / s), velocidade relativa do ar (0,1 a 1 m / s)
<input type="text" value="50"/>	rh (%), umidade relativa
<input type="text" value="0,5"/>	Icl (clo), isolamento básico de roupas (1 clo = 0,155 W / m2K)

#### Resultados para PMV e PPD

PMV  -3 frio a +3 quente

PPD  (%)

Fonte: Lund University, 2021.

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.design.lth.se/english/the-department/research-laboratories/climate-lab/tools/calculation-of-pmv-and-ppd/>

### 3.4.2 Método gráfico

#### 3.4.2.1 Cálculo da temperatura operativa ( $T_{op}$ )

Para aplicação do método gráfico foi preciso calcular a temperatura operativa através da eq.(7), considerando a altura do tórax (conforme o Quadro 4), a qual pode ser descrita como função da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), da temperatura radiante média ( $TRM$ ), e da constante  $\alpha$ .

$$T_{op} = \alpha T_{ar} + (1 - \alpha)TRM \quad (7)$$

Sendo que  $\alpha$  depende da velocidade do ar ( $v_{ar}$ ), cuja relação é dada pelo Quadro 6, onde  $\alpha$  assume diferentes valores para distintas faixas de velocidade do ar.

**Quadro 6. Valores de  $\alpha$  em função da velocidade do ar.**

$v_{ar}$ [m/s]	< 0,2	0,2 até 0,6	0,6 até 1,0
$\alpha$	0,5	0,6	0,7

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

#### 3.4.2.2 Zonas de conforto

As zonas de conforto para os casos em que a velocidade do ar é relativamente baixa (< 0,2 m/s) foram determinadas com o emprego do *software* livre “*CBE Thermal Comfort Tool*”<sup>10</sup> da Universidade Berkeley. Abaixo segue a Figura 8 ilustrando a interface da Ferramenta de Conforto Térmico CBE, a qual foi programada para operar com base nos cálculos da ASHRAE-55. À esquerda da Figura 8 tem-se a seção destinada a inserção dos dados de entrada, onde foi selecionado primeiramente o “Método PMV”, e, em seguida, inseridas as variáveis de conforto térmico. Desse modo, automaticamente, dessa vez ao lado direito da Figura 8, foram apresentados os resultados. Dentre os quais, destacam-se os índices PMV, PPD, SET e Sensação Térmica. Para obtenção do nomograma com a respectiva zona de conforto, foi preciso selecionar a opção desejada. No exemplo da Figura 8 está apresentada justamente a zona de conforto para baixa velocidade do ar. Contudo, para visualizar a zona de conforto para elevadas velocidades do ar, bastou selecionar a opção requerida.

<sup>10</sup> Disponível em: <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

**Figura 8 - Interface do software do CBE.**



Fonte: CBE, 2021.

### 3.4.3 Desconforto localizado

#### 3.4.3.1 Temperatura do piso

Para averiguar o grau de adequação aos níveis de conforto térmico do piso avaliado, foi considerado o valor medido da temperatura da superfície do piso. Depois disso, foi verificado se tal temperatura superficial se encontra na faixa aceitável de temperatura, a qual é recomendada por ABNT (2008).

#### 3.4.3.2 Gradiente vertical de temperatura

Para fins de verificação do gradiente de temperatura do ar presente entre os pés e a cabeça do indivíduo, foram extraídas as diferenças entre as temperaturas dos referidos níveis. Ao final, foi verificado se tais diferenças verticais de temperatura do ar estariam abaixo do limite estabelecido por ABNT (2008).

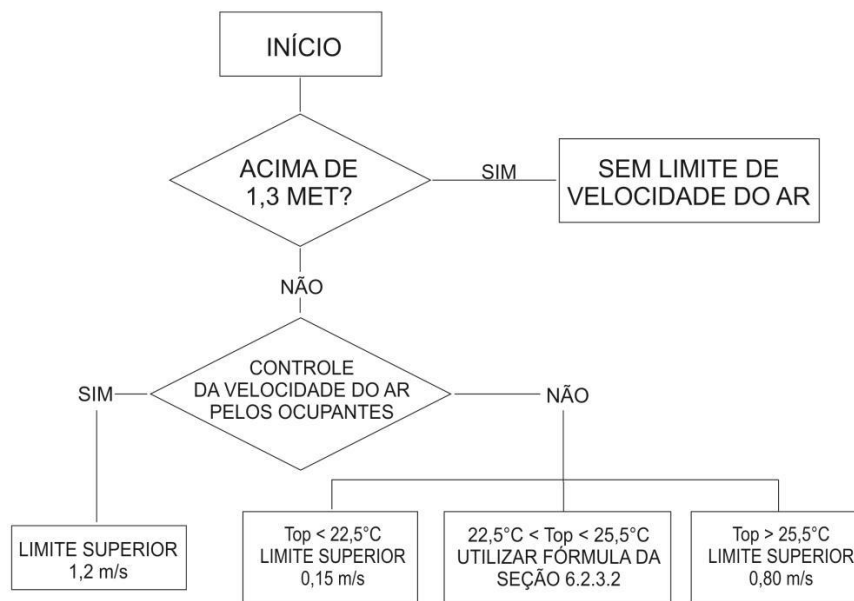
### 3.4.3.3 Correntes de ar

Antes, somou-se a parcela de velocidade relativa do ar “ $v_{ar,r}$ ” (resultante do ato de caminhar) ao módulo inicial total da velocidade do ar medido com o anemômetro à altura de 1,7 m em P3, pois, o ocupante está a caminhar sobre P3. Procurou-se usar a velocidade medida a 1,7 m do piso, porque a esta altura tem-se a região da cabeça, que é mais sensível a “golpes” de ar.

Todavia, foi preciso identificar quais eram os limites de velocidade do ar em conformidade com a NBR 16401-2. Para tanto, analisou-se o fluxograma da Figura 9, que estabelece os limites de velocidade do ar, e aplicou-o a condição especificada. Assim, com base na Figura 9, sabendo que não houve nenhuma condição cuja taxa metabólica estivesse acima de 1,3 met, e que não houve controle da velocidade do ar pelos ocupantes, determinou-se que:

- Limite inferior: Se  $T_{op} < 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , então  $v_{ar,limite} = 0,15 \text{ m/s}$ ;
- Limite intermediário: Se  $22,5 \text{ }^\circ\text{C} < T_{op} < 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , então foi usada a eq.(8) abaixo.
- Limite superior: Se  $T_{op} > 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , então  $v_{ar,limite} = 0,80 \text{ m/s}$ ;

**Figura 9. Fluxograma para fixação de limites de velocidade do ar.**



Fonte: ABNT (2008).

A fórmula a que se refere o fluxograma no caso de a temperatura operativa encontrar-se entre  $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – quando não houver taxa metabólica acima de 1,3 met, nem houver controle local da velocidade do ar – é a seguinte (onde “ $T_{ar}$ ” é a temperatura do ar):

$$v_{ar,limite} = 50,49 - 4,4047 \times T_{ar} + 0,096425 \times T_{ar}^2 \quad (8)$$

### 3.4.3.4 Assimetria de Temperatura Radiante

Devido à falta de um instrumento que pudesse medir diretamente a Temperatura Plana Radiante, a verificação desse fenômeno tornou-se mais complexa, uma vez que foi estimada a temperatura radiante plana mediante as temperaturas superficiais das envoltórias do recinto. Para isso, aplicou-se índices de correção, como fatores de forma das superfícies em relação a um plano infinitesimal localizado no ponto em que se encontrava o ocupante, na altura de 0,6 m para o indivíduo sentado, e de 1,1 m para alguém em pé. A Tabela 13 elenca os valores de temperatura superficial medidos nos quatro horários diferentes, para as superfícies do recinto, ou seja, para o teto, piso e paredes. Sendo estas (paredes) representadas por S1, S2, S3 e S4.

**Tabela 13. Temperatura média superficial ( $T_s$ ) [°C].**

Horário	S1	S2	S3	S4	Teto	Piso
15 h	26,6	26,5	26,4	26,2	27,1	25,4
16 h	26,3	26	26,1	26	27	25,4
17 h	25,9	25,8	25,8	25,7	26,4	25,2
20 h	25,3	25,1	25,2	25,1	25,9	25

Fonte: Autoria própria.

Neste momento, os fatores de forma foram definidos por equações que dependem da posição relativa do plano infinitesimal em relação à superfície da envoltória analisada. As respectivas posições foram duas: perpendicular e paralela. Antes, vale notar que o fator de forma está sujeito à geometria espacial de cada caso; portanto, foi necessário conhecer as dimensões planas ( $a \times b$ ) da envoltória e sua distância ( $c$ ) para o usuário.

Quando a relação entre a área ao redor e o plano infinitesimal foi perpendicular, utilizou-se duas razões adimensionais  $X$  e  $Y$  entre os parâmetros geométricos aplicadas a eq.(11):

$$X = \frac{a}{b} \quad (9)$$

$$Y = \frac{c}{b} \quad (10)$$

$$F_{as-s_n} = \frac{1}{2\pi} \left( \tan^{-1} \frac{1}{Y} - \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \quad (11)$$

Entretanto, quando a relação entre o plano infinitesimal e a superfície adjacente foi paralela, utilizou-se as seguintes definições:

$$X = \frac{a}{c} \quad (12)$$

$$Y = \frac{b}{c} \quad (13)$$

$$F_{ds-s_n} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \quad (14)$$

Então, tendo definidos as temperaturas superficiais e seus respectivos fatores de correção, restou utilizar esses dados na equação da temperatura radiante plana, a qual se expressa consoante a eq.(15):

$$T_{pr}^4 = T_{S_1}^4 F_{ds-s_1} + T_{S_2}^4 F_{ds-s_2} + \dots + T_{S_n}^4 F_{ds-s_n} \quad (15)$$

Onde:

$T_{pr}$  - é a temperatura radiante plana [°C];

$T_{S_n}$  - é a temperatura média da superfície [°C];

$F_{ds-s_n}$  - é o fator de forma entre o pequeno elemento de plano  $dS$  e a superfície  $S_n$ .

O método tomado para a resolução da assimetria de temperatura radiante ( $\Delta T_{pr}$ ) consistiu primeiro em encontrar a temperatura radiante plana de todas as áreas que envolvem o ambiente em relação ao plano elementar de referência. E depois achar a diferença entre os módulos das temperaturas radiantas planas ( $T_{pr}$ ) presentes em cada lado oposto da superfície plana infinitesimal. Por exemplo, a assimetria de temperatura radiante entre o teto e o piso foi obtida pela diferença entre suas respectivas  $T_{pr}$  calculadas em relação ao plano interposto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PMV E PPD

A seguir constam duas tabelas (Tabela 14 e Tabela 15), que exibem os índices PMV e PPD para isolamento da vestimenta de 0,41 clo e 0,59 clo, respectivamente. Tais índices de conforto térmico foram calculados para os três pontos avaliados no interior do recinto (P1, P2 e P3), nos quatro horários em que foram aferidas e estimadas as variáveis de conforto térmico.

**Tabela 14. Índices de conforto para 0,41 clo.**

Localização	Índices	15 h	16 h	17 h	20 h
P1	PMV	-0,85	-0,93	-1,19	-1,4
	PPD [%]	20,2	23,3	34,8	45,5
P2	PMV	-0,91	-1,04	-1,22	-1,5
	PPD [%]	22,6	27,6	36,0	51,0
P3	PMV	-	-	-2,02	-2,54
	PPD [%]	-	-	77,8	94,3

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 15. Índices de conforto para 0,59 clo.**

Localização	Índices	15 h	16 h	17 h	20 h
P1	PMV	-0,41	-0,48	-0,71	-0,89
	PPD [%]	8,5	9,9	15,7	21,9
P2	PMV	-0,47	-0,57	-0,73	-0,99
	PPD [%]	9,6	11,9	16,3	25,5
P3	PMV	-	-	-1,34	-1,79
	PPD [%]	-	-	42,4	66,3

Fonte: Autoria própria.

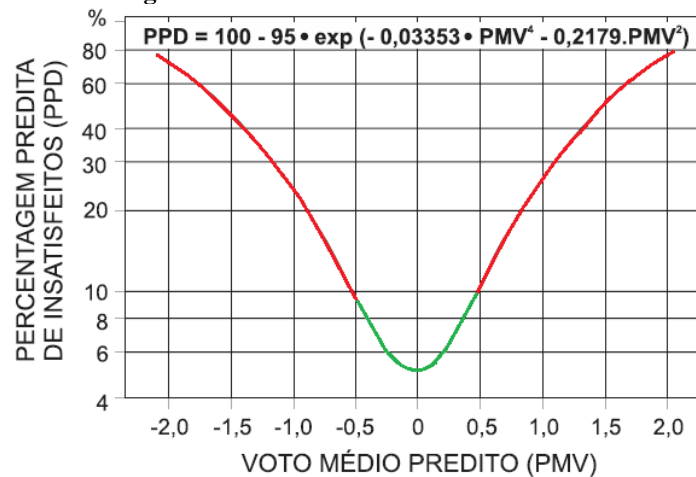
Com isso, para enfim iniciar a avaliação dos resultados encontrados para o PMV, recorreu-se aos critérios que a ABNT (2008) determina para níveis aceitáveis de PMV e PPD. Assim, o Quadro 7 apresenta os relativos aos limites que devem ser observados para avaliação de conforto térmico. Segundo o Quadro 7, o percentual predito de insatisfeitos (PPD) deve estar abaixo de 10 %. Logo, isso implica que o PMV precisa variar entre -0,5 e +0,5, ou seja, se o PMV estiver abaixo de -0,5 ou acima de +0,5, ocorrerá situação de desconforto térmico.

**Quadro 7. Limites máximos exigidos de PPD e PMV.**

PPD [%]	PMV
< 10	-0,5 < PMV < +0,5

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

A Figura 10 representa o gráfico característico que relaciona o PMV e o PPD. Ao mesmo tempo, a Figura 10 ilustra a faixa recomendável pela NBR 16401-2 usando um código de cores convencional. Isto é, a parte do gráfico em cor verde simboliza a região de conforto, enquanto que a região em cor vermelha representa a região em que existirá desconforto térmico. De fato, as regiões vermelhas estão ou com  $PMV < -0,5$  e  $PPD > 10\%$  ou com  $PMV > +0,5$  e  $PPD > 10\%$ , enquanto que a região verde encontra-se  $-0,5 < PMV < +0,5$  e  $PPD < 10\%$ .

**Figura 10. Gráfico característico do PMV.**

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

Portanto, com base no que foi exposto, é possível inferir que quando o usuário esteve trajando um conjunto de roupas cuja resistência consiste em 0,41 clo, houve desconforto térmico em todos os cenários analisados, qualificados como “levemente frio” na maioria das vezes, tendo em P3 casos mais severos de “frio”, consoante a escala sétima de conforto térmico da Figura 2.

Por outro lado, quando se considerou a adição do colete, elevando a resistência até 0,59 clo, ocorreu um aumento nos índices PMV. Ainda, sucedeu que no horário de 15 h, ambos os Pontos 1 e 2 apresentam sensações “neutras”, e o mesmo resultado se repetiu apenas em P1 às 16 h, sendo o restante dos casos classificados também como “levemente frio”, destacando que os índices de P3 também atingiram os níveis mais rigorosos novamente, não obstante terem apresentado aumento com a adição do colete grosso.

## 4.2 MÉTODO GRÁFICO

### 4.2.1 Temperatura Operativa

A Tabela 16 mostra a temperatura operativa obtida para cada ponto analisado para os quatro horários diferentes. Destaque para P3, que teve suas variáveis ambientais aferidas somente às 17 h e às 20 h. Além disso, percebe-se que nenhum valor está acima de 25,5 °C, e que há alguns casos abaixo de 22,5 °C. Estas informações foram úteis para determinação dos limites de velocidade do ar na avaliação de desconforto térmico por convecção localizada.

**Tabela 16. Temperatura operativa ( $T_{op}$ ) [°C].**

Localização	15 h	16 h	17 h	20 h
P1	23,7	23,5	22,7	22,1
P2	23,5	23,2	22,6	21,8
P3	-	-	22,0	20,7

Fonte: Autoria própria.

#### 4.2.1.1 Alterações

As alterações (que são mudanças passivas da temperatura operativa com o passar do tempo), não podem ocorrer de forma exagerada. Dessa forma, o Quadro 8 relaciona os limites máximos de mudanças da temperatura operativa e os períodos de tempo correspondentes. Ou seja, para determinado intervalo de tempo, a diferença entre a temperatura operativa final e a inicial não pode ultrapassar certo limite.

**Quadro 8. Limites máximos de alterações permitidas para distintos períodos de tempo.**

Período (h)	Alteração máxima [°C]
1,0	2,2
2,0	2,8
4,0	3,3

Fonte: Adaptado de ABNT (2008).

Assim, a Tabela 17 apresenta os valores de alterações para todos os três pontos avaliados, para intervalos de tempo de 1 hora (15-16 h e 16-17 h), 2 horas (15-17 h), 3 horas (17-20 h) e 4 horas (16-20 h).

**Tabela 17. Alterações ( $\Delta T_{op}$ ) [°C].**

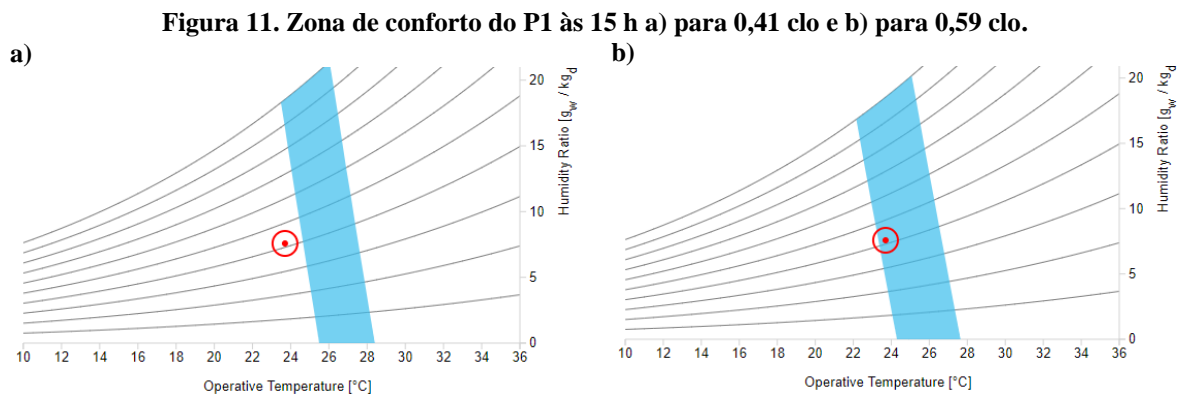
Localização	15-16 h	16-17 h	15-17 h	17-20 h <sup>11</sup>	16-20 h
P1	0,2	0,8	1,0	0,6	1,4
P2	0,3	0,6	0,9	0,8	1,4
P3	-	-	-	1,3	-

Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, vale lembrar que para o P3 foram realizadas medições somente às 17 h e às 20 h, por isso resolveu-se conferir a variação da temperatura operativa dentro desse intervalo, apesar de a norma não prever um limite para um período de 3 horas. Mas como para um período inferior (2 horas) sabe-se que, conforme o Quadro 8,  $\Delta T_{op} < 2,8$  °C, então a alteração de 1,3 °C em P3 é tolerável, juntamente com o restante dos casos, pois todos os demais saldos estão abaixo de seus respectivos limites aceitáveis.

#### 4.2.2 Zona de conforto para baixa velocidade do ar

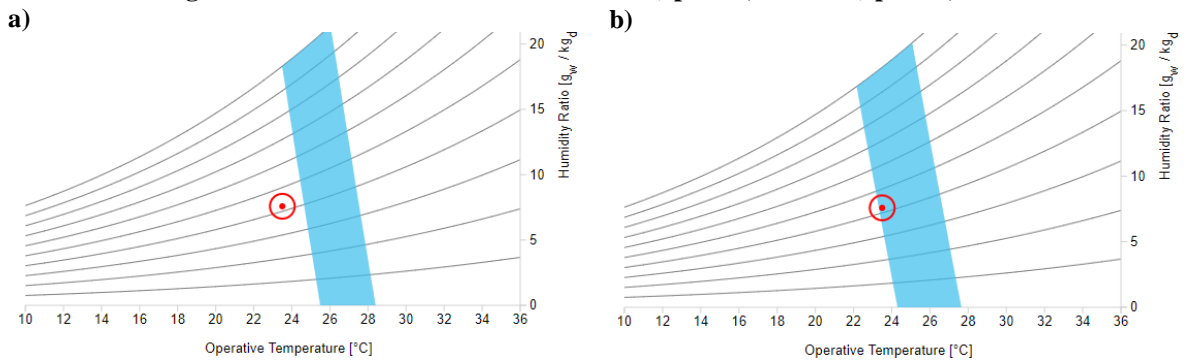
As figuras a seguir, entre a Figura 11 e a Figura 18, destinam-se a representar as zonas de conforto para baixas velocidades do ar, ou seja, são as zonas de conforto para P1 e P2. Sendo que da Figura 11 à Figura 14 são, respectivamente, as zonas de conforto para P1 às 15 h, 16 h, 17 h e 20 h. Enquanto que da Figura 15 à Figura 18 são, respectivamente, as zonas de conforto para P1 às 15 h, 16 h, 17 h e 20 h. Em todas elas, tem-se dois gráficos, sendo que “a” destina-se ao isolamento da vestimenta de 0,41 clo, e “b” ao isolamento de 0,59 clo.



<sup>11</sup> Não há um limite expresso na ABNT NBR 16401-2:2008 para período de três horas.

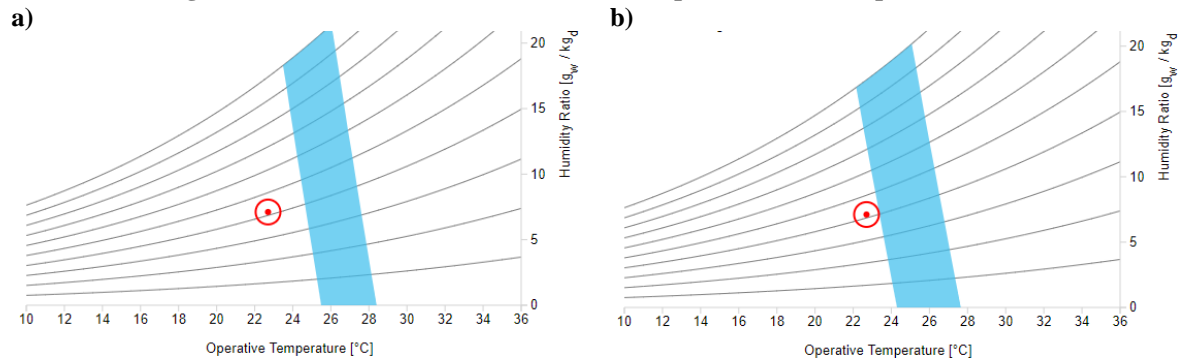
Observa-se que basta contemplar os gráficos da Figura 11 para perceber os limites mínimos e máximos de temperatura operativa delimitados pela faixa azul. E ainda se o caso analisado se encontra dentro ou fora da zona de conforto através do ponto vermelho em destaque. Ambas as faixas de temperatura operativa acima serviram para os demais casos que estiveram submetidos também à taxa metabólica de 1,1 met. Porém aproveitou-se especificamente a Figura 11 (a) para quando o isolamento da vestimenta atendeu a 0,41 clo, e a Figura 11 (b), por sua vez, para ocasiões de conjuntos de roupas de 0,59 clo.

**Figura 12. Zona de conforto do P1 às 16 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



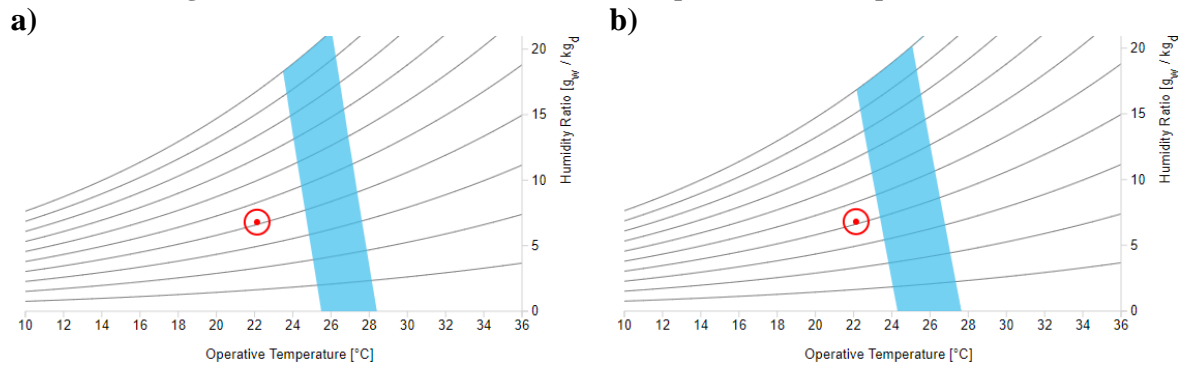
Fonte: Autoria própria.

**Figura 13. Zona de conforto do P1 às 17 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



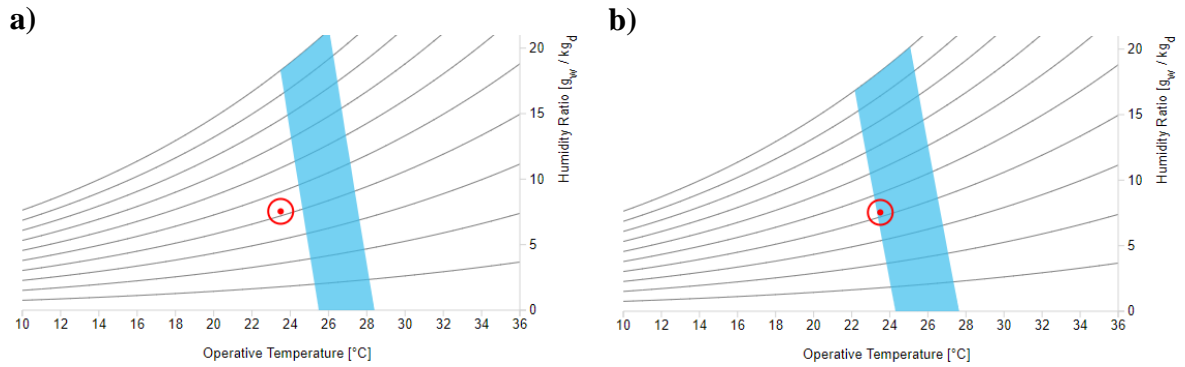
Fonte: Autoria própria.

**Figura 14. Zona de conforto do P1 às 20 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



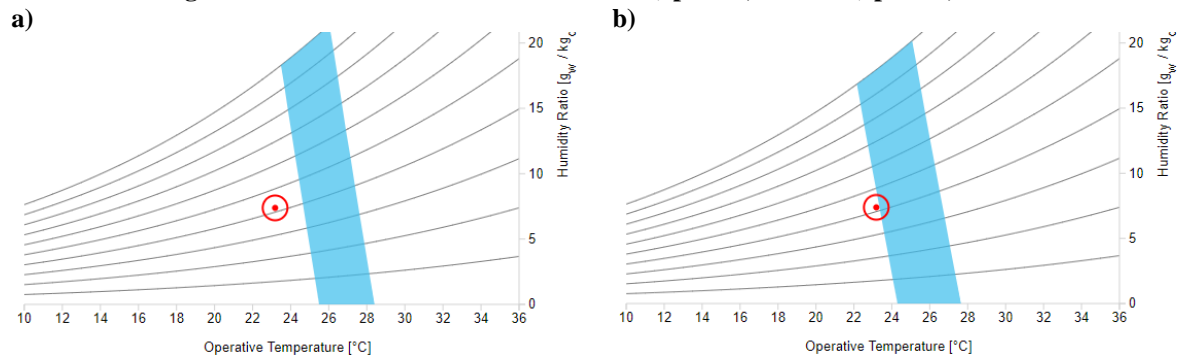
Fonte: Autoria própria.

**Figura 15. Zona de conforto do P2 às 15 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



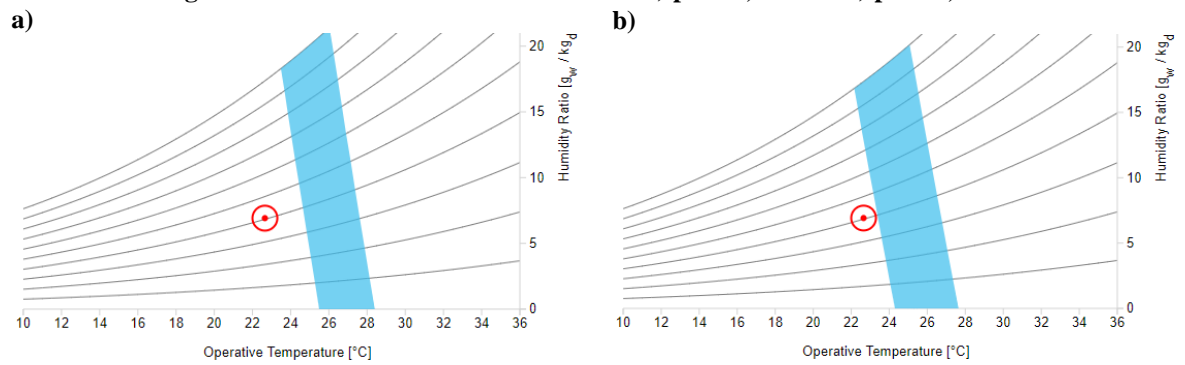
Fonte: Autoria própria.

**Figura 16. Zona de conforto do P2 às 16 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



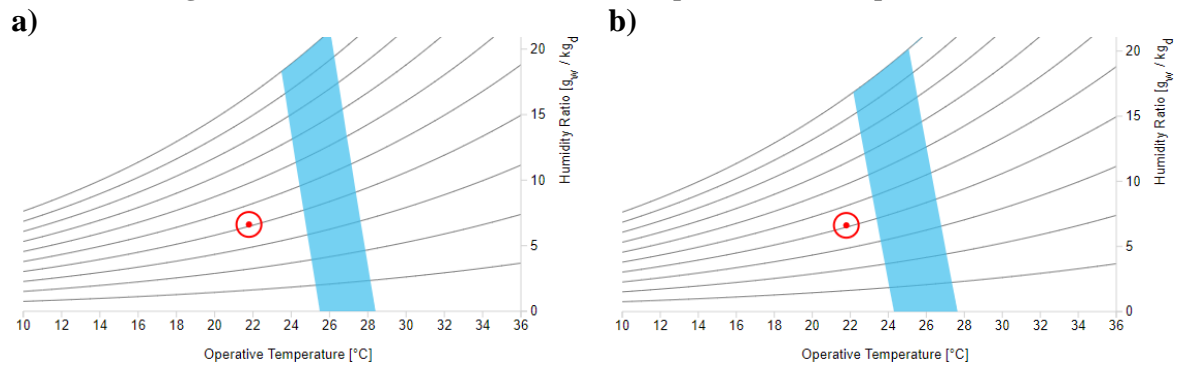
Fonte: Autoria própria.

**Figura 17. Zona de conforto do P2 às 17 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 18. Zona de conforto do P2 às 20 h a) para 0,41 clo e b) para 0,59 clo.**



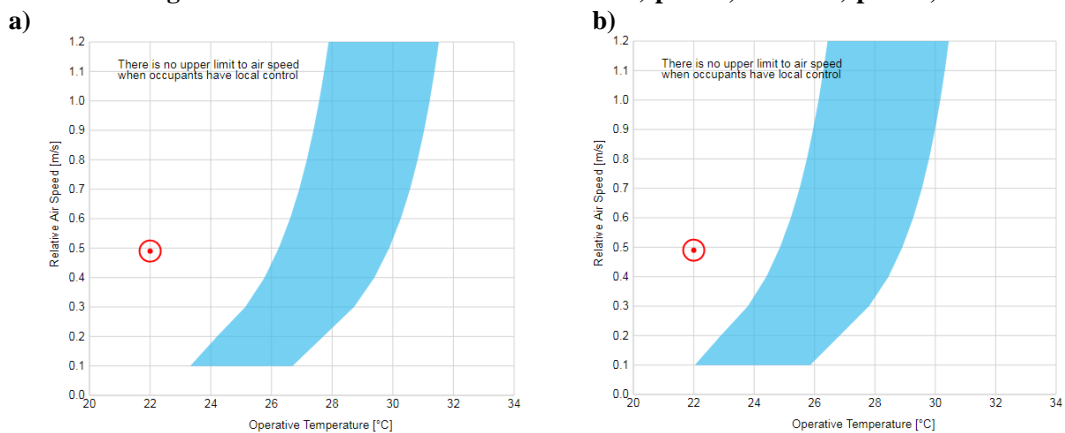
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar as figuras acima, percebeu-se que tanto para P1 quanto para P2, conforme avança o tempo, a condição do ambiente tendeu a afastar-se sucessivamente da faixa da zona de conforto. Isso aconteceu provavelmente em virtude do entardecer do dia, onde houve queda na temperatura operativa externa, principalmente quando anoitece de fato. Outro fator poderia ser o fato de o ambiente ter sido condicionado gradativamente ao longo do tempo, uma vez que o condicionador de ar foi acionado apenas uma hora antes do início das medições.

#### 4.2.3 Zona de conforto para elevada velocidade do ar

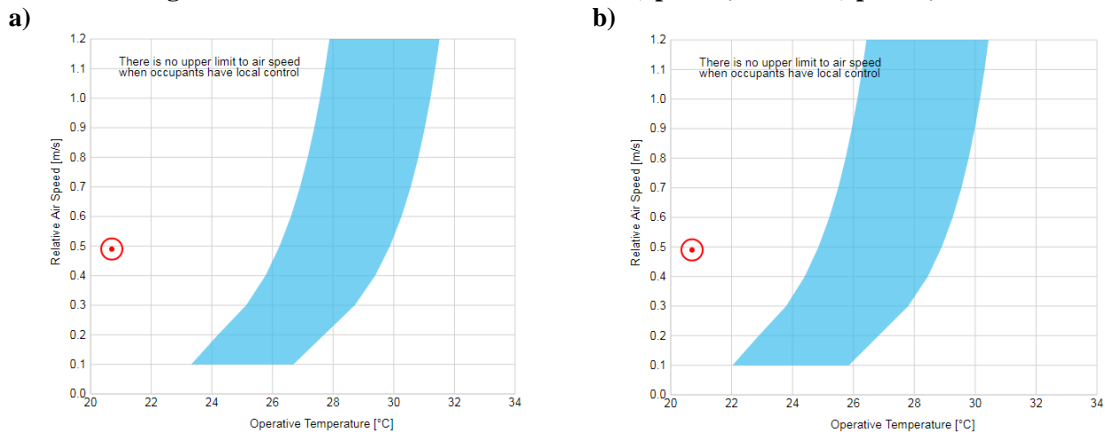
A Figura 19 e a Figura 20 exibem as zonas de conforto para os casos de elevada velocidade do ar, ou seja, representa as zonas de conforto de P3. Nessa situação, a Figura 19 ostenta a zona de conforto de P3 às 17 h, onde “a” é para 0,41 clo, e “b” para 0,59 clo. A Figura 20, por sua vez, apresenta a zona de conforto de P3 às 20 h, onde “a” é para 0,41 clo, e “b” para 0,59 clo.

**Figura 19. Zona de conforto do P3 às 17 h a) para 0,37 clo e b) para 0,53 clo.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 20. Zona de conforto do P3 às 20 h a) para 0,37 clo e b) para 0,53 clo.**



Fonte: Autoria própria.

Através das duas figuras ligeiramente acima, conclui-se que, apesar de constar para apenas dois horários, é possível perceber o mesmo fenômeno que ocorreu para zonas de conforto para baixas velocidades do ar. Isso significa que de 17 h para 20 h a condição térmica ambiental afastou-se da zona de conforto. As razões provavelmente são as mesmas concebidas na análise das situações do item anterior 4.2.2. Além disso, é válido inferir que se a velocidade do ar em P3 continuasse a subir, isso provocaria um afastamento ainda maior da condição térmica do ambiente da zona de conforto.

### 4.3 DESCONFORTO LOCALIZADO

#### 4.3.1 Temperatura do piso

O Quadro 9 abaixo mostra os valores médios de temperatura superficial do piso registrados em quatro horários diferentes:

**Quadro 9. Temperatura média do piso [°C].**

15 h	16 h	17 h	20 h
25,4	25,4	25,2	25

Fonte: Autoria própria.

Para ABNT (2008), a faixa de temperatura admissível para o piso é de 19-29 °C, aproximadamente. Portanto, como as temperaturas do piso arroladas no Quadro 9 estão todas em torno de 25 °C, logo não houve desconforto localizado por contato com piso quente ou frio.

#### 4.3.2 Gradiente vertical de temperatura

A Tabela 18 inclui os valores da diferença de temperatura vertical do ar:

**Tabela 18. Gradiente vertical de temperatura ( $\Delta T_{ar}$ ) [°C].**

Horário	P1	P2	P3
15 h	0,1	0,4	-
16 h	0,3	0,2	-
17 h	0,1	0,2	0,2
20 h	0,1	0,1	0,1

Fonte: Autoria própria.

De acordo com ABNT (2008), o limite máximo para o gradiente vertical de temperatura do ar é de 3 °C. Logo, consoante os saldos expostos na Tabela 18, concluiu-se também que inexistiu um gradiente térmico ortogonal ao piso que seja incômodo, porquanto a diferença na temperatura do ar entre o nível da cabeça e do tornozelo não excede 3 °C em nenhuma das ocorrências.

### 4.3.3 Correntes de ar

A Tabela 19 apresenta os valores de velocidade do ar medidos a altura da cabeça do ocupante representativo, isto é, à 1,7 m em relação ao piso em P3. As medições ocorreram às 17 h e às 20 h.

**Tabela 19. Velocidade do ar em P3 à altura de 1,7 m ( $v_{ar(1,7)}$ ) [m/s].**

Horário	$v_{ar,f(1,7)}$
17 h	0,99
20 h	0,89

Fonte: Autoria própria.

Finalmente, incumbe garantir que houve registro de desconforto ocasionado por correntes de ar em P3, visto que é recomendável por ABNT (2008) velocidade do ar  $< 0,15$  m/s quando a  $T_{op}$  estiver abaixo de 22,5 °C. E de acordo com a Tabela 16 (tabela com valores de temperatura operativa calculados) houve temperatura operativa de 22 °C às 17 h e de 20,7 °C às 20 h. E nestes casos, em ambos os horários, conforme a Tabela 19, as velocidades finais à altura da cabeça  $v_{ar,f(1,7)}$  estão bem acima do limite máximo de 0,15 m/s. No tocante aos Pontos 1 e 2, as temperaturas operativas só estiveram abaixo de 22,5 °C em seus respectivos horários de 20 h, logo a velocidade estimada de 0,1 m/s em P1 e P2 também não gerou incomodo devido estar abaixo do limite de 0,15 m/s.

No entanto, como para os demais horários de P1 e de P2 (15, 16 e 17 h), as temperaturas operativas estão entre 22,5 °C e 25,5 °C, então foi usada a eq.(8) e obtido seus respectivos limites máximos de velocidade do ar. Os resultados estão organizados na Tabela 20, onde encontram-se os limites de velocidade do ar aceitáveis para P1 e P2, de 15 h às 17 h.

**Tabela 20. Limites de velocidade do ar em P1 e P2 [m/s].**

Horário	P1	P2
15 h	0,20	0,20
16 h	0,19	0,19
17 h	0,22	0,24

Fonte: Autoria própria.

Portanto, os valores de velocidade de P1 e P2 nos horários de 15-17 h, todos de 0,1 m/s para ambos os pontos, não ensejam desconforto por convecção localizada (*draught*), porquanto se encontram abaixo de seus correspondentes limites constantes na Tabela 20.

#### 4.3.4 Assimetria de Temperatura Radiante

As tabelas seguintes arranjam os valores de assimetria de temperatura radiante para os quatro horários de medições que foram realizadas. As assimetrias radiantes analisadas correspondem em três situações distintas, que são: a assimetria entre as paredes S1 e S2; a assimetria entre as paredes S3 e S4; e a assimetria entre o teto e o piso. A razão disso consiste basicamente no fato uma superfície ser exatamente oposta a outra. A Tabela 21 representa a assimetria radiante em P1, a Tabela 22 em P2, e a Tabela 23 em P3.

**Tabela 21. Assimetria de temperatura radiante para P1 ( $\Delta T_{pr}$ ) [°C].**

Horário	S1//S2	S3//S4	Teto//Piso
15 h	4,75	3,60	0,47
16 h	4,78	3,62	0,40
17 h	4,62	3,58	0,14
20 h	4,56	3,49	0,06

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 22. Assimetria de temperatura radiante para P2 ( $\Delta T_{pr}$ ) [°C].**

Horário	S1//S2	S3//S4	Teto//piso
15 h	0,05	3,60	0,47
16 h	0,15	3,62	0,40
17 h	0,05	3,58	0,14
20 h	0,10	3,49	0,06

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 23. Assimetria de temperatura radiante para P3 ( $\Delta T_{pr}$ ) [°C].**

Horário	S1//S2	S3//S4	Teto//pisso
15 h	0,05	3,82	0,86
16 h	0,15	3,73	0,79
17 h	0,05	3,69	0,52
20 h	0,10	3,60	0,31

Fonte: Autoria própria.

Enfim, considerando a temperatura da superfície da pele humana, e comparando com as temperaturas das superfícies do recinto, assumiu-se que tanto as paredes quanto o teto estão relativamente frios. E ponderando que, segundo ABNT (2008), para as paredes frias o módulo da assimetria deve ser inferior a 10 °C, e que para tetos frios compete ser inferior a 14 °C. Dessa maneira, conclui-se que não há ocorrência de assimetria indesejável em nenhum dos casos analisados em qualquer dos três pontos.

## 5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e nas discussões elaborados, concluiu-se que os modelos de análise de conforto térmico propostos pela ABNT NBR 16401-2:2008 foram adequados para o estudo em questão. Não somente por se tratar justamente de um ambiente típico de escritório, mas, sobretudo, pela convergência dos cálculos e projeções com o testemunho dos usuários. A saber, a queixa de sensação subjetiva de “levemente frio”, que foram confirmadas analiticamente mediante a aquisição de índices PMV variando na maioria das ocasiões entre -0,57 e -1,5. Assim, o ambiente da sala da secretaria encontrou-se em situação de desconforto térmico geral quando se considerou o isolamento da vestimenta comumente utilizado. Embora tenham sido registradas algumas ocasiões de conforto para quando o ocupante utiliza um casaco grosso, ainda assim os índices PMV e PPD, neste caso, chegam a atingir valores impertinentes, principalmente nos horários mais avançados do dia.

De fato, conforme o tempo avançou, houve um aumento na taxa de desconforto térmico geral, e isso se deve a dois fatores precípuos que provavelmente influenciaram de forma concomitante para esse evento. O primeiro incide no fato do ar ambiente ter sido gradativamente condicionado ao longo do tempo, visto que o aparelho foi acionado uma hora antes de iniciarem-se os procedimentos de medição. E o segundo consiste na influência do ambiente externo, uma vez que fica evidente uma redução na temperatura radiante média ao anoitecer. Ainda, lembrando que em dias típicos o horário de expediente começa no turno da manhã e estende-se até a noite, na modalidade de turno ininterrupto de revezamento, logo o equipamento condicionador de ar tende a permanecer ligado durante todo o dia. E isso pode ensejar maior possibilidade das condições internas à tarde alcançarem níveis mais críticos, pois o aparelho fica ligado por mais tempo do que o foi durante as medições realizadas.

Considerando também que foi registrado desconforto localizado do tipo “*draught*” em P3, recomenda-se que os usuários mantenham o difusor de ar direcionado para outro sentido, visando minimizar as chances de ocorrer incômodos desse tipo às pessoas que permanecem no ambiente. Ou ainda, sugere-se que reduzam a velocidade do ar de saída de forma controlada. Já em relação à tentativa de manter o PMV dentro dos limites adequados, sugere-se aos ocupantes começarem a variar a configuração do aparelho, sobretudo no tocante a elevar a temperatura de acionamento do termostato. Alternativa diversa seria elevar a resistência da vestimenta, mas esse recurso pode ser inviável em relação a certas peças de roupa. Já que antes de ingressar no ambiente interno, geralmente o usuário utiliza roupas apropriadas ao ambiente externo, que

geralmente requer de fato roupas leves. Além disso, a adoção de tipos de roupas ou modo de vestir-se costuma ser um critério estritamente subjetivo do indivíduo.

Enfim, como proposta de trabalho futuro, sugere-se determinar uma configuração ideal de funcionamento para o sistema no caso dos usuários preferirem continuar sem assumir o controle constante sobre o aparelho. Outra sugestão seria realizar o cálculo de carga térmica do ambiente, a fim de averiguar se a potência instalada de 12.000 Btu/h está ultra-dimensionada, uma vez que potências acima do necessário podem afetar a neutralidade térmica do ocupante, a qual é pré-requisito fundamental para alcance de conforto térmico. Ademais, outra proposta seria prever se há certos horários do dia ao longo do ano onde seja dispensável o uso de ar condicionado, seja por se encontrarem na zona de conforto, ou por caber outra estratégia (como a ventilação). Para este caso, é possível basear-se nos dados climáticos da região (Normais Climatológicas ou Ano Climático de Referência aliados ao método da Carta Bioclimática), finalizando com recomendação de alterações ou adaptações na edificação (se for plausível). Por último, sugere-se avaliar o ambiente considerando que os ocupantes tenham controle do ambiente, visando em seguida apontar diferenças entre os resultados obtidos, e os resultados deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 16401-2:2008**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, RJ: ABNT. 2008. 60 p.

ALMEIDA, Alana Mello de. **Conforto térmico e eficiência energética em edifício multifamiliar na cidade de Maceió-AL**. Orientador: Gianna Melo Barbirato. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

ANDREASI, Wagner Augusto. **Disciplina**: tópicos avançados em conforto térmico. Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD. 2003. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ANDREASI, Wagner Augusto; LAMBERTS, Roberto; CÂNDIDO, Christhina. Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil. *Building and Environment*. **ELSEVIER**, Amsterdam, n. 45, 5 nov. 2009.

ARAÚJO, Mara Rúbia de Oliveira. **Conforto térmico em salas de aula localizadas em clima quente e úmido**: Uma avaliação do limite inferior da zona de conforto. Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt. 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 55 user's manual based on ANSI/ASHRAE Standard 55-2013**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2016.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE. 2010. 44 p.

ASSIS, Débora Couto de. **O conforto térmico associado às variáveis de cobertura da Terra na região central de Juiz de Fora-MG**. Orientador: Cássia de Castro Martins Ferreira. 2016. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

AULICIEMS, Andris; SZOKOLAY, Steven V. **Thermal Comfort**. 2. ed. Brisbane: PLEA, 2007.

BAGIOTTO, Juliano Ramires de Moraes. **Diretrizes de melhoria para condições de conforto térmico em uma indústria alimentícia na cidade de pelotas**. Orientador: Prof. Dr. Luis Antonio dos Santos Franz. 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Centro de Engenharias Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

BARBIERO, Miriam. **Avaliação das percepções quanto ao ambiente térmico em uma indústria metalúrgica**: um estudo de caso. Orientador: Prof<sup>a</sup> Lia Buarque de Macedo

Guimarães, PhD. 2004. TCC (Especialização) - Curso de Engenharia de Ergonomia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BATIZ, Eduardo Concepción *et al.*. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, Joinville, v. 19, n. 3, p. 477-488, set. 2009.

BELLO, Luiza Guerra. **Análise do desempenho de conforto térmico de projetos de habitações unifamiliares em Pato Branco, PR**. Orientador: Prof. Msc. José Valter Monteiro Larcher. 2013. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

BIAZZOTTO, Camila B. *et al.*. Hipotermia no Período Peri-Operatório. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, São Paulo: Sociedade Brasileira de Anestesiologia, ano 2006, 1 fev. 2006.

BRITO, Flávia Brandão Ramalho de. **Estudo da temperatura de globo em relação a temperatura do ar durante atividades cognitivas em ambientes de ensino com alterações climáticas em áreas das regiões brasileiras**. Orientador: Dr. Luiz Bueno da Silva. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

BRODAY, Evandro Eduardo. **Análise comparativa entre os métodos de determinação da taxa metabólica visando o equilíbrio entre o homem e o ambiente**. Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

BULCÃO, Lígia Carneiro. **Estratégias farmacológicas preventivas para tremores no intraoperatório**. Orientador: Prof. Dr. Rogean Rodrigues Nunes. 2021. TCC (Graduação) - Curso de Medicina, Hospital Geral de Fortaleza, Escola de Saúde Pública do Estado do Ceará, Fortaleza, 2021.

BURIOL, Galileo Adeli *et al.*. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, 0fev. 2015

ÇENGEL, Yunus; BOLES, Michael. **Termodinâmica**. 7. ed. México, D.F.: The McGraw-Hill Companies, 2012.

COELHO, Daniel António Soares. **Avaliação do Conforto Térmico em salas de aula**. Orientador: Professor Doutor Ricardo M. S. F. Almeida. 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção e Reabilitação, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 2014.

CORRÊA, Jorge E.; MALISKA, Clóvis R. Utilização de CFD na avaliação de conforto térmico em ambientes condicionados na presença de assimetrias de radiação térmica. *In*: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 6., 2010, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2010.

CORREIA, Daniel Guerreiro. **Avaliação das condições de conforto térmico em espaços equipados com superfícies radiantes e ventilação utilizando as energias renováveis**. Orientador: Prof. Doutor Eusébio Conceição. 2014. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Energias Renováveis e Gestão de Energia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, 2014.

CORREIA, Sara Virginia Ornilo *et al.*. Avaliação do conforto térmico em uma sala de aula. *In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2016, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: ENEGEP, 2016.

CORVACHO, M. H. P.; OLIVEIRA, A. M. F. Vãos envidraçados, desempenho térmico e conforto térmico humano: modelo simplificado de seleção. **TECH ITT - Estruturas e Construção**, Lisboa: Construlink, ed. 11, ano 2013.

COUTINHO, Brenda Rodrigues. **Avaliação de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados**: um exemplo em restaurante universitário. Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki. 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

DE VECCHI, R.; CÂNDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189-202, jul./set. 2013.

DONAIISKY, Emerson; OLIVEIRA, Gustavo H. C.; MENDES, Nathan. Algoritmos PMV-MBPC para conforto térmico em edificações e aplicação em uma célula-teste. **Revista Controle & Automação**, Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 1 fev. 2010.

FAN, Jipeng. **A new numerical simulation model for standard effective temperature**. Orientador: Professor Jan Kleissl. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mechanical Engineering, University of California, San Diego, 2015.

FANTICELE, Fernando Boechat. **Avaliação de conforto térmico na estação antártica comandante Ferraz**. Orientador: Dra. Cristina Engel de Alvarez. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

FELIX, Victor Barbosa *et al.*. Análise de desconforto térmico local em ambientes cirúrgicos com o uso de manequim, medição de variáveis ambientais e avaliação subjetiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 115-129, 3 mar. 2012.

FERNANDES, Constantino Martins. **Níveis de conforto térmico para os utilizadores de salas de operações**. Orientador: Professor Doutor Alberto Sérgio de Sá Rodrigues Miguel & Professora Doutora Senhorinha Fátima Capela Fortunas Teixeira. 2014. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Humana, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2014.

FERNANDES, Leandro Carlos; KRÜGER, Eduardo L. Temperatura Radiante média obtida via termômetro de globo: análise crítica de dados de um estudo de campo. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 147-163, set. 2019. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/3456>. Acesso em: 02 de maio de 2021.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara de. **Ventilação natural em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico. Orientador: Anésia

Barros Frota. 2007. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FREITAS, Ruskin Marinho de. **Entre mitos e limites:** As possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano. Orientador: Juan Mascaró. 2005. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico:** Arquitetura, urbanismo. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P.; BERGLUND, L.G. A standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Trans**, Portland, ano 1986, n. 92, 22 jun. 1986. p. 709-731.

GALLO, E. A., RIBEIRO, F. N. Índice de Conforto Térmico ISO7730 em Automação Predial. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 98p.

GALLOIS, Nelson Simões Pires. **Análise das condições de stress e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina.** Orientador: Roberto Lamberts, PhD. 2002. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

GOMES, Adriana Dias. **Relações entre preferências térmicas humanas no interior de edificações e as temperaturas externas:** um estudo sobre o método adotado na norma ASHRAE 55-2004. Orientador: Prof. Dr. Maurício Roriz. 2007. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

GOMES, Cesar Henrique de Godoy. **Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá.** Orientador: Roberto Lamberts. 2003. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, Tiago Manuel Fernandes. **Conforto térmico no interior de edifícios.** Orientador: Professor Doutor Paulo Fernando Antunes dos Santos. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2017.

GOUVÊA, Tatiana Chrispim. **Avaliação do conforto térmico:** Uma experiência na indústria da confecção. Orientador: Profª Drª Lucila Chebel Labaki. 2004. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

GRZYBOWSKI, Graziella Toledo. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá-MT:** Estudo de caso. Orientador: Profª Drª Marta C. de J. Albuquerque Nogueira. 2004. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física e Meio Ambiente, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2004.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 7726:1998**: Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities. Geneva: ISO. 1998. 50 p.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 7730:2005**: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva: ISO. 2005. 52 p.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 8996:2004**: Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate. Geneva: ISO. 2004. 21 p.

ISO - International Organization for Standardization. **ISO 9920:2007**: Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Geneva: ISO. 2007. 101 p.

KAZKAZ, Mohammad; PAVELEK, Milan. Operative temperature and globe temperature. **Engineering Mechanics**, Brno, v. 20, n. 3/4, p. 319-325, 2 dev. 2013.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: LABEEE, 2014.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações**. 7. ed. Florianópolis: LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2016.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LOUREIRO, Filipe Miguel Gomes. **Análise de Conforto Térmico dos Gabinetes do Edifício de Engenharia Civil da FCT/UNL**. Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2017.

LUCAS, Ruan Eduardo Carneiro; SILVA, Luiz Bueno da. Conforto ambiental em sala de aula: análise da percepção térmica dos estudantes de duas regiões e estimação de zonas de conforto. **Produção Online**, Florianópolis: ABEPRO, ed. 17, ano 2017, n. 3, 25 mai. 2017.

MALCHAIRE, Jacques; ALFANO, Francesca Romana d'Ambrosio; PALELLA, Boris Igor. Evaluation of the metabolic rate based on the recording of the heart rate. **Industrial Health**, Rosières, 2017.

MARTINELLI, Luiz Carlos Jr. **Refrigeração e ar-condicionado**: Psicrometria. Panambi: DeTEC, 2002.

MATIAS, Luís; SANTOS, Carlos Pina dos. Conforto térmico adaptativo no setor residencial em Portugal. *In*: Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, 2., 2013, Lisboa. **Anais** [...]. Berlim: Researchgate, 2014.

MENEGATTI, M. de C.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Influência do índice de massa corpórea e frequência de atividades físicas no conforto térmico humano: análise estatística de dados de

estudo de campo com usuários de escritórios em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 119-133, jul./set. 2018.

MONTEIRO, Leonardo Marques. Review of numerical modelling of outdoor thermal comfort. *In: The 2005 World Sustainable Building Conference, 2005, Tokyo. Anais [...]*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

NDEMBO, Maria Gabriela Cosme Diogo. **Avaliação Subjetiva do Conforto Térmico Laboral de uma Empresa Angolana**. Orientador: Prof. Doutor Luís Manuel Monteiro Alves. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2018.

OLIVEIRA, Ana Robalo Cordeiro Sousa. **Avaliação da incerteza na determinação dos índices de conforto térmico PMV e PPD**. Orientador: Prof. Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva. 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2008.

OLIVEIRA, Etianne Alves Souza de. **Análise da relação entre os parâmetros arquitetônicos, o conforto térmico e a produtividade em escritórios com ventilação natural**. Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto de Paula Xavier. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

PEREIRA, Adriana Rodrigues. **Análise do conforto térmico para usuários de uma moradia universitária e do desempenho térmico de sua envoltória**. Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Simone Queiroz da Silveira Hirashima. 2019. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG, Belo Horizonte, 2019.

PEREIRA, Daniel Augusto de Moura *et al.*. Avaliação do desempenho da ventilação natural para a promoção do conforto térmico em um bloco educacional público. *In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 8., 2012, Rio de Janeiro. Anais [...]*. Rio de Janeiro: CNEG, 2012.

PERROTTA, Antonio N. **Conforto térmico em edificações sustentáveis: Estudo de caso do prédio central e laboratórios de ampliação do Centro de Pesquisa Leopoldo Américo Miguez de Mello**. Orientador: Elaine Garrido Vazquez. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PICKUP J.; DEAR, R. de. An outdoor thermal comfort index (out-SET\*): part 1 - the model and its assumptions. **Division of Environmental and Life Sciences**, Sydney, 23 dev. 2015.

PINTO, Mônica Martins; WESTPHAL, Fernando Simon. Avaliação de conforto térmico relacionado ao uso de vidro insulado em escritórios com fachada envidraçada em Florianópolis (SC). *In: XV Encontro Nacional e XI Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2019, João Pessoa. Anais [...]*. João Pessoa: ENCAC, 2019.

RACKES, Adams *et al.*. Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas. *In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 2015. Anais [...]*. Campinas: Researchgate, 2015.

RAMOS, João E.; PITARMA, Rui A.; CARVALHO, Maria da Graça. Modelação do conforto térmico em salas climatizadas. **Primeiras Jornadas Nacionais do Colégio de Engenharia Mecânica**, Porto, 9 mar. 1998.

RIBEIRO, Bruno Henrique Zeferino. **Avaliação do Conforto Térmico no Terminal de Cruzeiros e na Estação de Passageiros do Porto de Leixões**. Orientador: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira. 2017. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2017.

ROSSI, Francine Aidie. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. Orientador: Eduardo Leite Krüger. 2012. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

RUAS, Álvaro César. **Avaliação de conforto térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki. 1999. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade Engenharia de Civil, Comissão de pós-graduação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

RUAS, Álvaro César. **Avaliação de conforto térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Orientador: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lucila Chebel Labaki. 2001. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade Engenharia de Civil, FUNDACENTRO, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

RUPP, Ricardo Forgiarini *et al.*. Aplicabilidade do modelo PMV/PPD para avaliação de conforto térmico em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em Florianópolis/sc. *In: XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído*, 2015, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Researchgate, 2015.

SANTO, Amabelli d'ell; ALVAREZ, Cristina Engel de; NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ**: 20, Rio de Janeiro, 2020.

SANTOS, Juliana Barros dos. **O uso do PMV para avaliação do conforto térmico em edifício de escritório tipo plano aberto e sua viabilidade de aplicação em clima quente e úmido**. Orientador: Juliana Oliveira Batista. 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

SILVA, Juarez de Sousa e *et al.*. Princípios básicos de Psicrometria. *In: SILVA, Juarez de Sousa e. (Aut.). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008. p. 37-62.

SILVA, Luiz Bueno da. **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**. Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Pereira Fialho. 2001. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SILVA, Nayane Laurentino da. **Análise dos parâmetros de conforto térmico em habitações populares de um conjunto em João Pessoa/PB.** Orientador: Prof. Dr. Antônio Souto Coutinho. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia da Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

SILVA, Patrícia Alexandra Varela. **Estudo do Conforto Térmico numa Lavandaria/Engomadoria.** Orientador: Prof. João Garcia. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Segurança e Higiene no Trabalho, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2013.

SIMONE, Angela *et al.*. Operative temperature control of radiant surface heating and cooling systems. *In: Proceedings of Clima 2007 Wellbeing Indoors*, 9., 2007, Helsinque. **Anais [...]**. Berlin: Researchgate, 2014.

SOUZA, C.F. *et al.*. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Rev. Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v.26, n.1, p.157-164. 2002.

VECCHI, Renata de. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC.** Orientador: Roberto Lamberts, PhD. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

VIDOR, Bruno Vinícius. **Desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo da carga térmica de resfriamento e avaliação do conforto térmico de um ônibus rodoviário.** Orientador: Me. Sergio da Silva Kucera. 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

VOLTANI, Eder Ricardo. **Avaliação do conforto térmico em indústrias de calçados.** Orientador: Lucila Chebel Labaki. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias:** Teoria física aliada a estudos de campo. Orientador: Professor Roberto Lamberts, PhD. 2000. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

ZHANG, Sheng; LIN, Zhang. Standard effective temperature based adaptive-rational thermal comfort model. **Applied Energy**, Hong Kong: ELSEVIER, 4 mar. 2020.

## ANEXO A – Isolamento térmico de peças de roupas.

Descrição da Roupa <sup>b</sup>	$I_{clu}$ (clo)	Descrição da Roupa <sup>b</sup>	$I_{clu}$ (clo)
<b>Roupas Íntimas</b>		<b>Vestidos e Saias<sup>c</sup></b>	
Sutiã	0,01	Saia (fina)	0,14
Calcinha	0,03	Saia (grossa)	0,23
Cueca Masculina	0,04	Vestido fino, sem mangas	0,23
Camiseta	0,08	Vestido de malha, com mangas	0,27
Meia combinação Íntima	0,14	Vestido curto de algodão (estilo camisa)	0,29
Roupa Íntima Longa (Ceroulas)	0,15	Vestido comprido com mangas (fino)	0,33
Combinação Íntima	0,16	Vestido comprido com mangas (grosso)	0,47
Ceroula Completa (corpo todo)	0,20	<b>Suéter</b>	
<b>Calçados</b>		Colete/Suéter sem mangas (fino) <sup>d</sup>	0,13
Meia Soquetes	0,02	Colete/Suéter sem mangas (grosso) <sup>d</sup>	0,22
Meia-calça fina/Meias 7/8	0,02	Suéter manga longa (fino)	0,25
Sandálias/Chinelos	0,02	Suéter manga longa (grosso)	0,36
Sapatos	0,02	<b>Paletós e Coletes</b>	
Sapatos semi abertos (pantufas, sapatos de couro)	0,03	Colete (fino)	0,10
Meias médias (algodão)	0,03	Colete (grosso)	0,17
Meias compridas (algodão)	0,06	Paletó (fino)	0,36
Botas	0,10	Paletó (grosso)	0,44
<b>Camisas e Blusas</b>		Paletó fechado (fino)	0,42
Blusa sem mangas	0,12	Paletó fechado (grosso)	0,48
Camisa manga curta esportiva (estilo pólo)	0,17	<b>Pijamas e Robes</b>	
Camisa social manga curta	0,19	Camisola curta, sem mangas (fino)	0,18
Camisa social manga longa	0,25	Camisola comprida, sem mangas (fino)	0,20
Camisa de flanela manga longa	0,34	Vestido manga curta de hospital	0,31
Moleton manga longa	0,34	Roupão de verão curto (fino)	0,34
<b>Calças e Macacões</b>		Pijama manga curta (fino)	0,42
Shorts curto	0,06	Camisola de inverno comprida (grosso)	0,46
Shorts comprido	0,08	Robe manga longa de verão	0,48
Calça (fina)	0,15	Pijama de manda comprida (grosso)	0,57
Calça (grossa)	0,24	Robe manga comprida de inverno	0,69
Calça Moleton	0,28		
Macacão (jardineira)	0,30		
Macacão (fechado)	0,49		

<sup>a</sup> Dados provenientes do Capítulo 9 da versão de 2013 do ASHRAE Handbook – Fundamentals  
<sup>b</sup> "Fino" se refere às roupas feitas com tecido fino/leve, utilizadas normalmente durante o verão.  
"Grosso" se refere às roupas feitas com tecido grosso/pesado, utilizado normalmente durante o inverno.  
<sup>c</sup> Saias no comprimento do joelho.  
<sup>d</sup> Coletes forrados.

Fonte: ABNT (2008).

## ANEXO B – Taxas metabólicas para atividades típicas.

Atividade	Taxa Metabólica	
	Unidade Met	W/m <sup>2</sup>
<b>Descansando</b>		
Dormindo	0,7	40
Deitado	0,8	45
Sentado, quieto	1,0	60
De pé, relaxado	1,2	70
<b>Caminhando (em uma superfície plana)</b>		
0,9 m/s; 3,2 km/h;	2,0	115
1,2 m/s, 4,3 km/h,	2,6	150
1,8 m/s, 6,8 km/h,	3,8	220
<b>Atividades de Escritório</b>		
Lendo, sentado	1,0	55
Escrevendo	1,0	60
Digitando	1,1	65
Arquivando, sentado	1,2	70
Arquivando, de pé	1,4	80
Caminhando pelo ambiente	1,7	100
Levantando/empacotando	2,1	120
<b>Dirigindo/ Voando</b>		
Automóvel	1,0 - 2,0	60 - 115
Aeronaves, rotina	1,2	70
Aeronaves, aterrissagem com instrumentos	1,8	105
Aeronaves, combate	2,4	140
Veículos	3,2	185
<b>Atividades Ocupacionais Diversas</b>		
Cozinhando	1,6 - 2,0	95 - 115
Limpendo a casa	2,0 - 3,4	115 - 200
Sentado, movimento pesado dos membros	2,2	130
Trabalho de Máquina serrando (serra de mesa)	1,8	105
Luz (indústria elétrica)	2,0 - 2,4	115 - 140
Pesado	4,0	235
Manipulação, sacos de 50 kg	4,0	235
Trabalhos com picareta e pá	4,0 - 4,8	235 - 280
<b>Atividades diversas de Lazer</b>		
Dançando, social	2,4 - 4,4	140 - 255
Musculação	3,0 - 4,0	175 - 235
Tênis, individual	3,6 - 4,0	210 - 270
Basquetebol	5,0 - 7,6	290 - 440
Luta livre, competição	7,0 - 8,7	410 - 505

Fonte: ABNT (2008).