

## **APLICABILIDADE DO MODELO PMV/PPD PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM ESCRITÓRIOS COM SISTEMA CENTRAL DE CONDICIONAMENTO ARTIFICIAL EM FLORIANÓPOLIS/SC**

**Ricardo Forgiarini Rupp (1); Renata De Vecchi (2); Bernardo Asmus (3); Christhina Cândido (4); Eneid Ghisi (5)**

(1) Mestre, engenheiro civil, ricardorupp@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, (48) 3721-5185

(2) Mestre, arquiteta, renata.vecchi@labeee.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, (48) 3721-5185

(3) Graduando em engenharia civil, bernardoasmus@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, (48) 3721-5185

(4) Dra, arquiteta, christhina.candido@sydney.edu.au, University of Sydney, Indoor Environmental Quality Laboratory

(5) PhD, engenheiro civil, eneid@labeee.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, (48) 3721-5185

### **RESUMO**

Alguns estudos mostraram que o tradicional modelo de Fanger de 1970, embora amplamente utilizado em diversas partes do mundo para avaliação de conforto térmico em ambientes estáticos, pode ter sua aplicabilidade questionada quando utilizado em regiões de clima mais quentes. O presente trabalho avaliou a aplicabilidade do modelo PMV/PPD em um clima com verões quentes e úmidos (Florianópolis/SC, 27,59° S, 48,54° W); entretanto, as avaliações ocorreram durante o período de inverno, que pode ser classificado como ameno quando comparado a outras regiões do Brasil. Experimentos de campo foram conduzidos em uma edificação comercial com um sistema central de condicionamento artificial, onde questionários online foram aplicados simultaneamente às medições instrumentais ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante média e velocidade do ar). Os resultados mostraram que, mesmo que os valores preditos pelo modelo de Fanger superestimassem a sensação de frio quando comparados à sensação térmica real dos ocupantes, eles estariam ainda muito próximos do intervalo de conforto térmico estipulado.

Palavras-chave: conforto térmico, escritórios, PMV, trabalho de campo.

### **ABSTRACT**

Some studies have showed that the traditional model proposed by Fanger in 1970, widely used for thermal comfort evaluation in static environments worldwide, could have its applicability questioned when used in warm and humid climates. This paper evaluates the applicability of the PMV/PPD Fanger's model in a warm and humid summer climate (Florianópolis/SC, 27,59° S, 48,54° W); however, the evaluations occurred during the winter period, which could be classified as a mild one when compared with the other parts of Brazil. Field campaigns were carried out in a HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) building, and questionnaires were administered simultaneously to instrumental measurements (air temperature, radiant air temperature, air speed and humidity). The results showed that, even when the predicted values delivered by Fanger's model overestimated the cold sensation (when compared with the occupants' actual mean vote), they could fit in the thermal comfort range (especially if the thermal acceptability and percentage of dissatisfied were considered).

Keywords: thermal comfort, offices, PMV, field study.

## 1. INTRODUÇÃO

O clássico modelo estático de conforto térmico foi desenvolvido por Ole Fanger na década de 1970 (FANGER, 1970) baseado em estudos realizados em câmara climática na Dinamarca. 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). Segundo o método de Fanger, haverá sempre uma quantidade mínima de 5% de insatisfeitos em um grupo com relação ao ambiente térmico, mesmo que a sensação média térmica entre eles seja igual a zero. O modelo do PMV/PPD serviu e ainda serve como base para normas internacionais de conforto térmico como a ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013) para ambientes com ar-condicionado. Por outro lado, após o surgimento do modelo adaptativo (DE DEAR; BRAGER, 1998; HUMPHREYS; RIJAL; NICOL, 2013; NICOL; HUMPHREYS, 2010; NICOL; HUMPHREYS, 2002), algumas limitações do modelo de Fanger passaram a ser evidenciadas, questionando principalmente a sua aplicabilidade em ambientes ventilados naturalmente e/ou com sistemas híbridos (HUMPHREYS; NICOL, 2002; VAN HOOF, 2008; DEUBLE; DE DEAR, 2012). Entretanto, limitações a respeito da aplicabilidade do método PMV-PPD têm também sido reportadas em ambientes que operam com condicionamento artificial (HWANG *et al.*, 2009; FONG; CHOW; LI, 2010; DAGHIGH; SOPIAN, 2009; MUI; WONG, 2007; RICCIARDI; BURATTI, 2012; CAO *et al.*, 2011; HENS, 2009).

Alguns estudos com dados provenientes de câmaras climáticas em países subtropicais compararam os valores preditos (PMV – PPD) com a sensação térmica real das pessoas (*Actual Mean Vote – AMV*) e a porcentagem real de pessoas insatisfeitas (*Actual Percentage of Dissatisfaction – APD*), simulando situações típicas de verão. Em Taiwan (HWANG *et al.*, 2009), Hong Kong (FONG; CHOW; LI, 2010) e na Índia (MAITI, 2013, 2014), por exemplo, os valores preditos não apresentaram boa correlação com os valores reais. Ademais, no estudo em Taiwan, o menor valor de APD (16%) foi encontrado para um AMV de -0,4, contrariando o predito por Fanger, quem afirmou que a menor porcentagem de insatisfeitos (PPD=5%) seria atingida com um PMV=0 (HWANG *et al.*, 2009).

Com a mesma finalidade de comparar o PMV e o AMV, outros estudos foram também conduzidos em ambientes reais que operam com ar-condicionado. Na Malásia, em um levantamento em escritórios, o principal problema encontrado foi o super-resfriamento (DAGHIGH; SOPIAN, 2009); já em Hong Kong, outro estudo em escritórios encontrou diferenças entre as temperaturas de neutralidade entre o verão e o inverno (MUI; WONG, 2007). Em ambos os casos, o AMV e o PMV não obtiveram boa correlação. Da mesma forma, no norte da Itália (RICCIARDI; BURATTI, 2012), em Pequim na China (CAO *et al.*, 2011) e Bélgica (HENS, 2009), estudos de campo em edifícios de escritório com ar-condicionado foram conduzidos durante o verão e o inverno, e também apresentaram fraca correlação entre o AMV e o PMV. No entanto, em outro estudo realizado durante o inverno, e em 25 edifícios de escritório localizados em 11 cidades na Alemanha, os autores concluíram que o PMV apresentou resultados próximos das respostas subjetivas dos usuários (KUCHEN; FISCH, 2009).

De maneira geral, percebe-se que o modelo PMV-PPD não prediz adequadamente a sensação térmica real das pessoas em ambientes localizados em clima quente ou durante o verão, independentemente do modo de climatização utilizado. Porém, outros estudos comprovam sua validade em climas similares ao qual o modelo foi originário (climas mais frios). Assim, uma quantidade maior de experimentos de campo se faz necessária para buscar avaliar a aplicabilidade ou não do modelo estático em outras situações, como por exemplo, durante o inverno em clima subtropical.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar a aplicabilidade do modelo PMV-PPD para prever a sensação térmica real de usuários de escritórios com ar-condicionado, durante o inverno, em clima subtropical com verões quentes e úmidos e com invernos amenos (Florianópolis-SC).

## 3. MÉTODO

A principal característica do método desta pesquisa, baseado em Cândido *et al.* (2010; 2011) e De Vecchi,

Cândido e Lamberts (2013), é a proximidade no tempo e espaço entre as variáveis ambientais medidas e as respostas subjetivas dos ocupantes, coletadas através de questionários online. As medições foram realizadas durante o ano de 2014, no período de inverno (Julho e Agosto), e reuniram 413 votos de sensação, preferência e aceitabilidade térmica e da velocidade do ar. Os dados foram coletados em uma edificação comercial que opera predominantemente com um sistema de condicionamento central de ar durante todo o ano, a qual foi etiquetada com a classe A pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Na edificação trabalham diariamente cerca de 1200 pessoas entre 7h00min e 18h00min, e cada setor interno é delimitado por divisórias móveis; no entanto, existem ainda subdivisões internas, delimitadas pelo mobiliário (armários com altura média de 1,50 metros). Nos ambientes de medição, os ocupantes não têm controle algum sob as condições térmicas, e a temperatura do ar é controlada em 24°C (variação aceitável de  $\pm 2^\circ\text{C}$ ). A umidade relativa do ar não possui nenhum tipo de controle, e a saída de ar ocorre através de frestas modulares (1x1m) no teto.

### 3.1. Questionário

O questionário online<sup>1</sup> inclui perguntas sobre os dados antropométricos e demais características individuais dos usuários (vestimenta, atividade metabólica), conforto térmico (sensação, preferência, e aceitabilidade) e movimento do ar (preferência e aceitabilidade). Anexo ao e-mail com o questionário e convite para participar da pesquisa, os funcionários recebiam também uma carta explicativa, com informações adicionais a respeito dos procedimentos de medição e como utilizar o questionário online. O questionário foi respondido a cada 20 minutos, totalizando cinco votos em um período aproximado de 1 hora e 40 minutos. No total, foram obtidas 413 votos de 103 usuários da edificação, que responderam ao questionário uma média de 4,5 vezes. As seguintes escalas foram utilizadas no questionário:

*Sensação térmica:* -3 muito frio; -2 frio; -1 levemente com frio; 0 neutro; +1 levemente com calor; +2 calor; +3 com muito calor.

*Preferência térmica:* +1 ambiente mais resfriado; 0 não mudar; -1 mais aquecido.

*Aceitabilidade térmica:* 0 aceitável; 1 inaceitável.

*Conforto térmico:* 0 confortável; 1 desconfortável.

*Aceitabilidade da velocidade do ar:* “aceitável” (“pouca velocidade do ar”, “suficiente velocidade do ar” e “muita velocidade do ar”) ou “inaceitável” (“pouca velocidade do ar” e “muita velocidade do ar”).

*Preferência da velocidade do ar:* “menos velocidade do ar”, “não mudar” e “mais velocidade do ar”.

### 3.2. Ocupantes da edificação

Os funcionários da edificação foram recrutados pelos pesquisadores e chefe de setor para participar voluntariamente do experimento de campo. Os dados antropométricos dos participantes podem ser observados na Tabela 1. Dentre os 103 usuários que responderam ao questionário, 68% são do sexo masculino, e 32% do sexo feminino. Os valores de vestimenta, incluindo um adicional de 0,10 clo referente ao isolamento das cadeiras de escritório padrão, e taxa metabólica foram estimados de acordo com a ASHARE 55 (2013). Na Tabela 1 podem ser visualizados os dados médios de isolamento de vestimenta e de metabolismo da população alvo de estudo. De maneira geral, as mulheres vestiram-se com maior quantidade de roupas que os homens.

Tabela 1 – Número de voluntários participantes e perfil antropométrico, vestimenta e metabolismo médios dos usuários.

Gênero	N	Peso (kg)	Idade (anos)	Altura (m)	Vestimenta (clo)	Metabolismo (met)
Homem	70	80,5	40,3	1,77	0,73	1,0
Mulher	33	65,8	35,3	1,67	0,89	1,0
Total	103	75,8	38,7	1,74	0,78	1,0

<sup>1</sup> O questionário online foi desenvolvido em linguagem de programação Java pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC), o que facilitou a aplicação em ambiente empresarial e organização final de um grande volume de dados levantados.

### 3.3. Instrumentos de medição

Temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), temperatura de globo (°C) e velocidade do ar (m/s) foram medidas utilizando duas estações microclimáticas SENSU desenvolvidas pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 1). Além das estações microclimáticas, utilizou-se ainda dois termo-anemômetros portáteis, para as medições pontuais de temperatura e velocidade do ar, da marca AirFlow – modelo TA35 (Figura 2). Todas as medições foram realizadas conforme as especificações para medições de conforto térmico do apêndice K da ASHRAE 55 (2013) a 0,60 centímetros do chão, altura relativa ao troco e plano de trabalho dos ocupantes.



Figura 1 - Estação microclimática SENSU.



Figura 2 - Termo anemômetro portátil AirFlow.

Todos os sensores foram calibrados anteriormente ao experimento, e as estações microclimáticas testadas justas (lado a lado) em um espaço com condições homogêneas de temperatura e umidade relativa do ar. Durante os testes, os valores medidos foram comparados entre os sensores das estações 1 e 2, e os valores de temperatura do ar testados ainda com um termômetro de mercúrio de alta precisão. Todos os sensores de velocidade do ar (estação microclimáticas e portáteis) foram submetidos a testes no túnel de vento e seus valores aferidos.

### 3.4. Procedimentos de medição e análise dos dados

Durante os experimentos, os ocupantes foram solicitados a avaliar sua percepção térmica nas estações de trabalho respondendo ao questionário uma vez a cada 20 minutos, o que totalizou cinco rodadas de perguntas em um período de aproximadamente 1 hora e 40 minutos de medição. Neste intervalo, os 30 minutos iniciais foram utilizados para a estabilização dos sensores e do nível de metabolismo dos ocupantes. Ao mesmo tempo em que os ocupantes respondiam aos questionários, e as medições das variáveis ambientais eram registradas pelas estações microclimáticas, observações acerca do ambiente, funcionamento e comportamento dos usuários foram coletadas em planilhas pré-padronizadas.

As medições das variáveis ambientais foram efetivadas de maneira setorizada, com o confortímetro localizado continuamente em um ponto central da sala onde os ocupantes estavam respondendo aos questionários. Em todas as medições, os procedimentos para a obtenção das variáveis ambientais foram os mesmos, e podem ser observados mais detalhadamente na Figura 3.

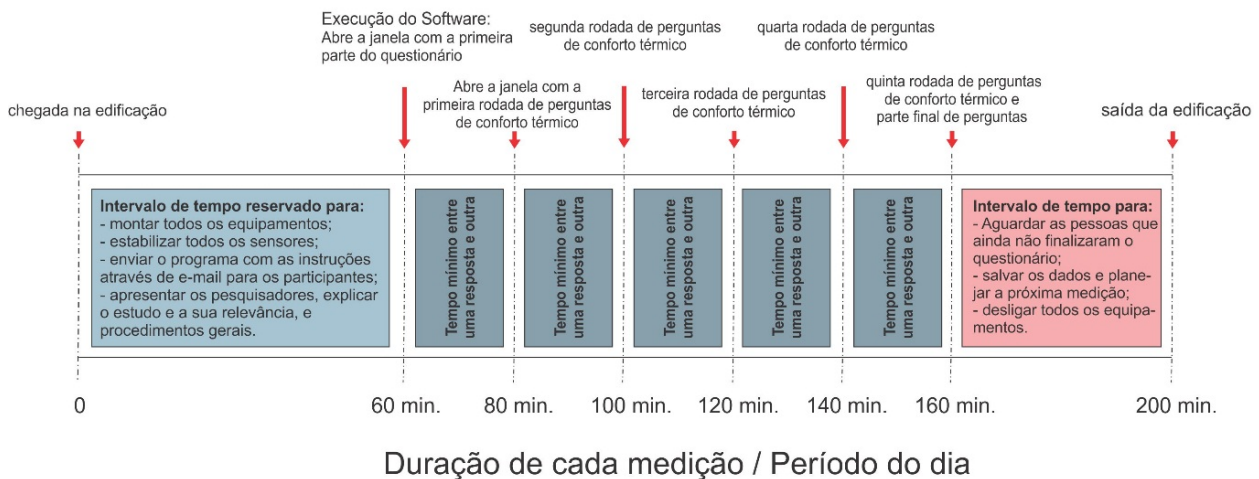


Figura 3 - Protocolo de medição adotado durante a realização dos experimentos de campo.

O banco de dados foi organizado em planilhas eletrônicas e os resultados analisados em função dos índices de temperatura operativa e PMV/PPD. A temperatura operativa foi calculada de forma simplificada, em função dos valores baixos de velocidade do ar (Equação 1), enquanto o PMV e o PPD foram calculados utilizando-se a calculadora online do *Center for the Built Environment* (CBE) desenvolvida por Tyler *et al.* (2013).

$$T_o = A \cdot t_{ar} + (1-A) \cdot t_{rm} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

A = 0,5 para  $V_{ar}$  igual a 0,2 m/s;

A = 0,6 para  $V_{ar}$  de 0,2 a 0,6 m/s;

A = 0,7 para  $V_{ar}$  de 0,6 a 1,0 m/s;

$t_{ar}$  é a temperatura do ar [°C];

$t_{rm}$  é a temperatura média radiante [°C].

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. Condições térmicas internas

Um resumo das condições térmicas internas (temperaturas operativas, umidades relativas e velocidades do ar) durante os experimentos de campo pode ser observado na Tabela 2. A temperatura operativa variou pouco durante os experimentos de campo; o sistema central de condicionamento de ar manteve condições praticamente constantes de temperatura (média de 22,5°C). De modo geral, a velocidade do ar apresentou valores baixos (média de 0,16 m/s), com pouca variabilidade no decorrer do experimento. O parâmetro que apresentou maior variação foi a umidade relativa do ar, que oscilou aproximadamente entre 40 e 75%. Analisando as condições internas e o voto de sensação térmica dos usuários médios (AMV), pode-se afirmar que os dados encontram-se no intervalo da zona de conforto térmico estipulada pela ASHRAE 55 (2013), considerando-se o método de Fanger (PMV médio dentro do intervalo de  $\pm 0,5$  e porcentagem de insatisfeitos inferior a 20%), como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo das condições térmicas internas durante os experimentos de campo.

Parâmetro	Temperatura operativa (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do ar (m/s)	PMV	PPD	AMV	APD
Média	22,5	52,0	0,16	-0,70	19%	-0,27	7%
Desvio Padrão	0,3	9,8	0,05	0,40	-	0,80	-
Máxima	23,2	75,0	0,30	-1,60	-	+2,00	-
Mínima	21,8	43,0	0,10	+0,30	-	-3,00	-

## 4.2. Conforto térmico

A Figura 4 apresenta a porcentagem total de votos de sensação térmica dos usuários da edificação em estudo. A maioria dos votos (62%) se concentrou na categoria “neutro”, enquanto 31% dos usuários disseram estar sentindo o ambiente térmico levemente frio a muito frio, e apenas 7,3% reportaram sensações térmicas de levemente com calor ou com calor. Considerando-se os três pontos centrais da escala sétima de sensação térmica como aqueles que proporcionam aceitabilidade térmica às pessoas, pode-se afirmar que 95,2% dos usuários estavam satisfeitos com o ambiente térmico (valor muito próximo aos votos de aceitabilidade térmica apresentados na Figura 6). Os valores médios de AMV e APD podem ser visualizados na Tabela 2.

Devido à pequena variabilidade das temperaturas operativas, não houve correlação entre estas e os votos de sensação térmica. A maioria das pessoas (73,6% dos votos) preferiu manter as condições atuais do ambiente térmico (Figura 5). Porém, uma parcela significativa (21,1% dos votos) dos usuários preferiria que o ambiente estivesse mais aquecido, enquanto 5,3% prefeririam que o ambiente estivesse mais resfriado.

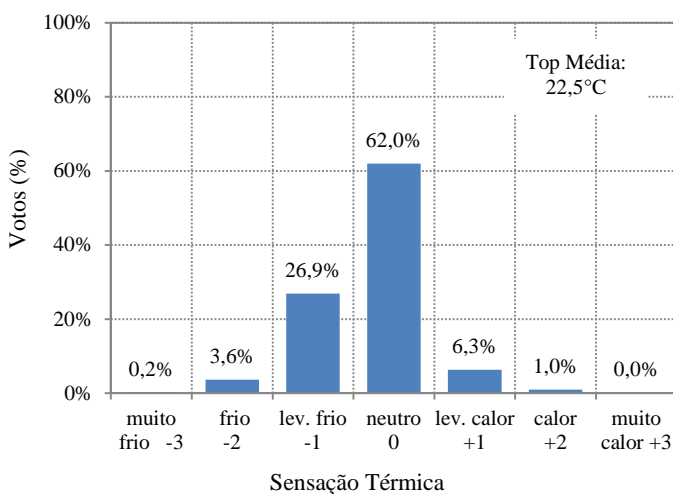


Figura 4 – Votos de sensação térmica dos usuários.

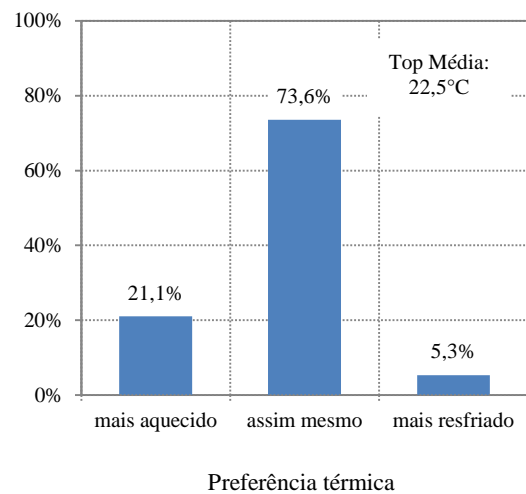


Figura 5 – Votos de preferência térmica dos usuários.

Ao cruzarem-se os votos de sensação térmica (AMV), que oscilaram entre -3 e +2 durante o experimento, com os votos de preferência térmica (Figura 6), observa-se um número superior de votos para “não mudar” o ambiente na escala de calor (+1 e +2), quando comparados com os votos de “não mudar” na escala de frio (-1, -2 e -3). Por outro lado, os votos localizados nos intervalos -1, -2 e -3 apresentaram preferência térmica predominante por um ambiente “mais aquecido”, enquanto nos intervalos +1 e +2, observou-se que 46% e 37% dos usuários gostariam de “não mudar” o ambiente. Neste caso, tal preferência pode estar ligada à temperatura externa e estação do ano em que os dados foram levantados (inverno).

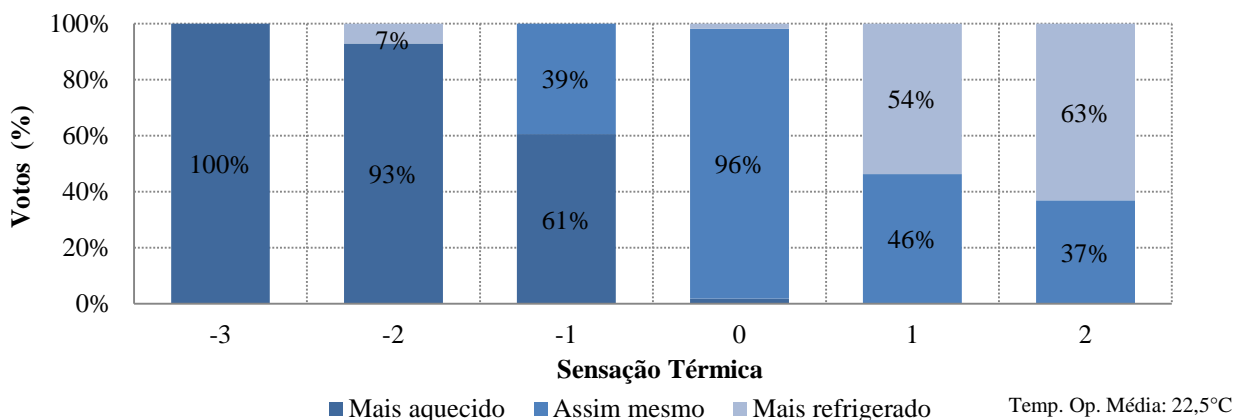


Figura 6 – Votos de sensação e preferência térmica dos usuários.

De modo geral, as condições térmicas internas foram julgadas pelos usuários como confortáveis e aceitáveis, conforme pode ser visualizado na Figura 6, que apresenta alta porcentagem de aceitabilidade

térmica (93,2%) e conforto térmico (89,3%) durante o experimento. Com relação aos usuários que expressaram desconforto térmico (10,7% dos votos), a maioria das reclamações ocorreu devido ao frio (91% dos votos); no entanto, observaram-se também algumas reclamações devido ao calor (9%) – Figura 7. Cerca de 70% das pessoas expressaram sentir frio nas extremidades do corpo (mãos e/ou pés). Neste caso, uma possível alternativa para diminuir os casos de desconforto térmico, tanto por calor, quanto pelo frio, é a existência de sistemas de condicionamento personalizados no ambiente de trabalho (entorno imediato) para aquecimento de mãos e pés e/ou com opção de ventilação do rosto, por exemplo (VESELÝ; ZEILER, 2014).

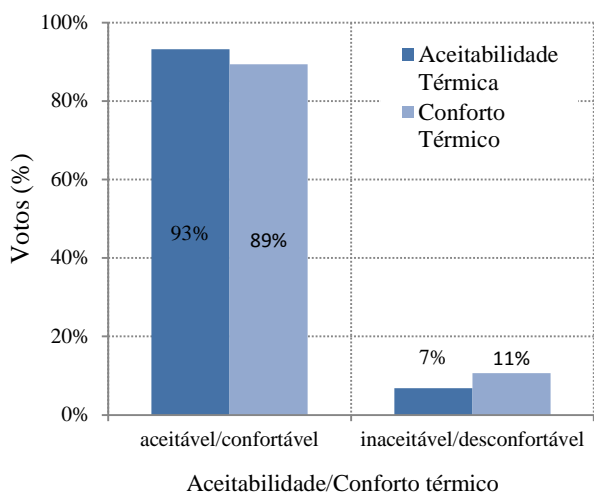


Figura 6 – Aceitabilidade térmica e conforto térmico dos usuários.

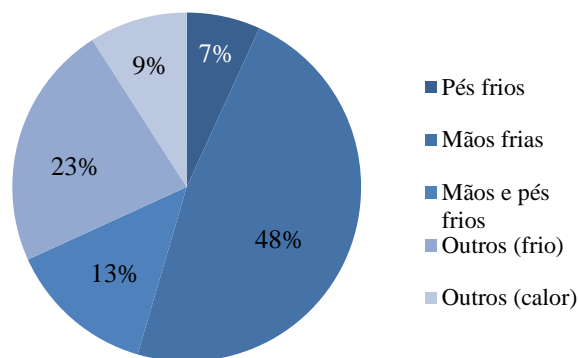


Figura 7 – Principais causas de desconforto térmico.

Durante os experimentos de campo, os usuários foram também questionados a respeito da aceitabilidade e preferência da velocidade do ar no seu espaço de trabalho. A Figura 8 apresenta as respostas dos usuários com relação à velocidade do ar de acordo com o intervalo de temperatura operativa a que estão sujeitos. As barras localizadas a esquerda apresentam os votos de aceitabilidade da velocidade do ar (n=383) enquanto as duas barras à direita, os votos de inaceitabilidade (n=30). A 22°C, observa-se que a maioria dos votos de inaceitabilidade ocorreram devido à alta velocidade do ar (60%), enquanto a 23°C a maioria dos votos de inaceitabilidade ocorreram devido à baixa velocidade do ar (55%). Analisando os votos de aceitabilidade da velocidade do ar à esquerda, onde a amostra é mais significativa e a velocidade média do ar de 0,16 m/s, pode-se observar que a grande maioria dos usuários afirmou que a velocidade do ar era baixa, e por isso aceitável.

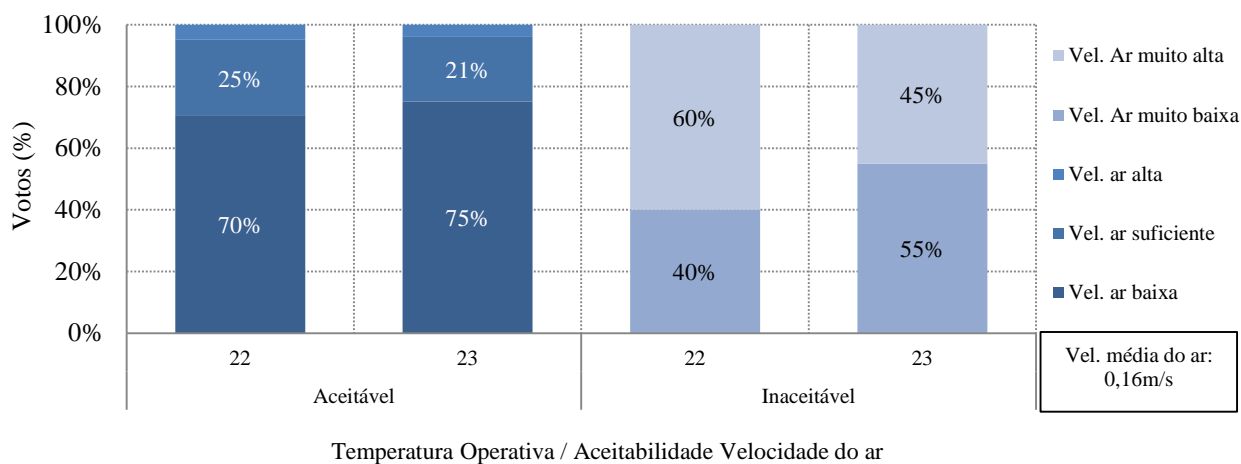


Figura 8 – Aceitabilidade relacionada à velocidade ar dos usuários.

Com relação à preferência pela velocidade do ar (Figura 9), percebe-se que a grande maioria dos usuários votou por “não mudar” os valores de velocidade do ar, em ambos os intervalos de temperatura. A porcentagem de pessoas que gostaria de “mais velocidade do ar” e “menos velocidade do ar” oscilou entre 11 e 14%.

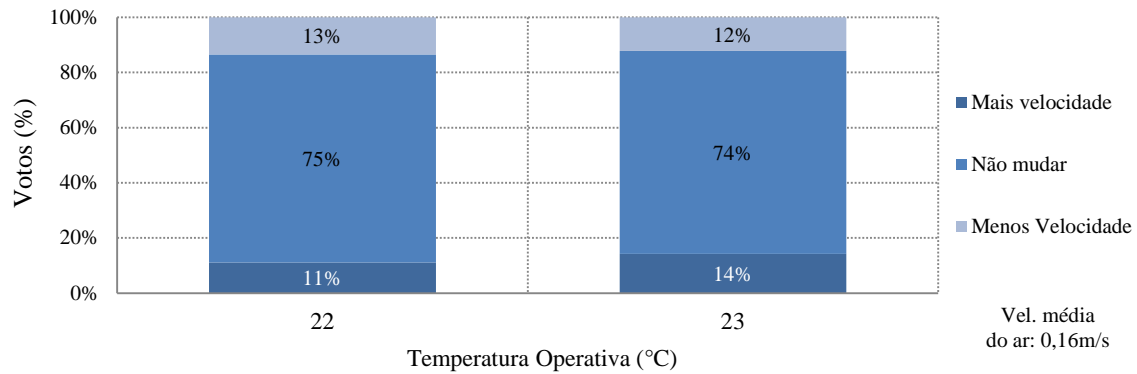


Figura 9 – Preferência relacionada à velocidade do ar dos usuários.

### 4.3. Comparação entre os votos médios de sensação térmica preditos e reais

A Figura 10 apresenta uma comparação entre os valores médios de AMV e PMV, diferentes estatisticamente em ambos os intervalos de temperatura (22 e 23°C) com  $p < 0,001$ . Ao analisar a Figura 10, observa-se que o PMV de Fanger superestimou, em ambos os intervalos de temperatura, a sensação térmica real dos usuários. A diferença entre o PMV médio calculado e o AMV real a 22°C é de -0,42, enquanto a 23°C tal diferença foi de -0,4. É interessante observar que se o PMV fosse utilizado neste estudo, ao invés da sensação térmica real, o ambiente seria classificado como “desconfortável” em ambos os intervalos de temperatura; o voto médio predito calculado se encontra fora do intervalo de  $\pm 0,5$ , resultando em -0,69 no intervalo de 22°C, e -0,72 em 23°C, ao contrário da sensação térmica média real, que se enquadra nos limites.

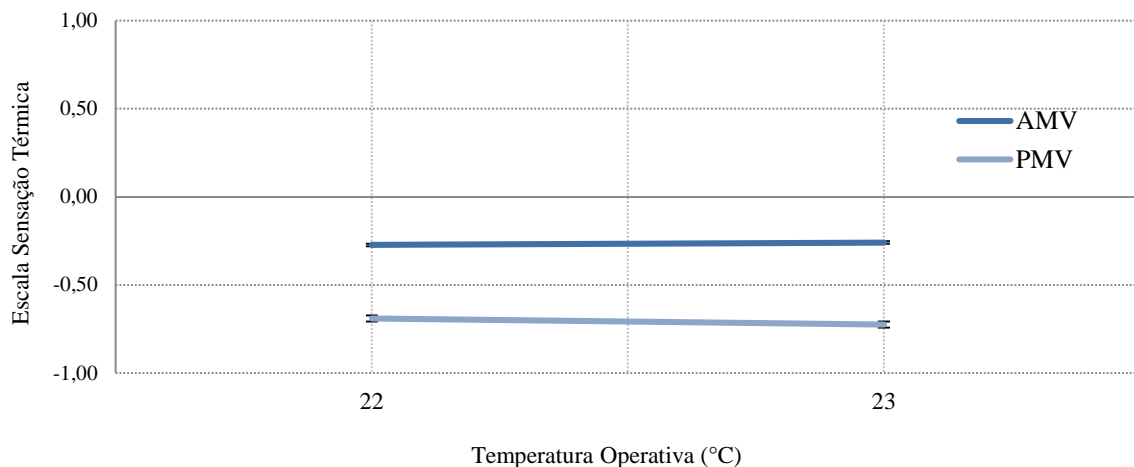


Figura 10 – Valores médios de sensação térmica entre o voto médio predito (PMV) e o voto médio real (AMV).

Os valores médios de PMV e AMV comparados de acordo com os dias em que os dados foram levantados foram de -0,93 (levemente com frio) e -0,33 (neutro) para o PMV, enquanto o AMV variou entre -0,38 (neutro) e +0,08 (neutro). A correlação entre os votos médios preditos e os votos médios reais das pessoas resultou em um  $R^2=0,66$  (Figura 11). O PMV superestimou a sensação de frio dos usuários, tendendo mais para o lado negativo da escala sétima, do que a real sensação das pessoas (neste caso, a média das diferenças entre o PMV e o AMV foi de -0,37). Com relação à percentagem de pessoas insatisfeitas durante o experimento (Tabela 2), observa-se uma diferença bastante significativa entre o que é predito e o que é real, embora os dois valores se enquadrem no intervalo permitido pelo modelo estático de Fanger (1970) e ASHRAE 55 (2013). Ainda que as médias apresentem os valores mais significativos para a análise e comparação dos resultados, é interessante observar a variação de votos máxima e mínima entre o que é predito e o que é real. Enquanto os extremos na coluna dos votos de sensação térmica reais chegam a +2 na escala de calor, e -3 na escala de frio, o PMV previu sensação térmica máxima de 0,3 e mínima de -1,6. Levando-se em consideração os resultados de ambas as Figuras (10 e 11), percebe-se claramente a inviabilidade da utilização do modelo PMV/PPD nas condições em que estes experimentos foram realizados: período de inverno, climas como o de Florianópolis/SC (verões quentes e úmidos e invernos amenos) e edificações com sistemas centrais de condicionamento artificial.



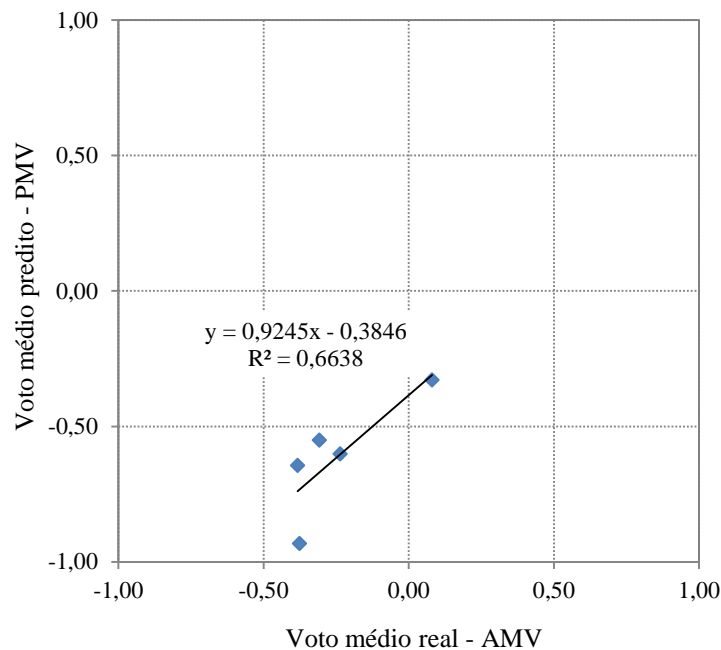


Figura 11 – Correlação entre o voto médio predito (PMV) e o voto médio real (AMV).

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou os resultados de campo de um estudo conduzido durante os meses de inverno na cidade de Florianópolis/SC, envolvendo 103 usuários de uma edificação de escritórios que opera predominantemente com sistema central de condicionamento de ar.

No edifício estudado, as condições térmicas internas apresentaram valores de acordo com as recomendações da ASHRAE 55 (2013) para ambientes climatizados artificialmente. Desta forma, conclui-se que:

- Sensação e preferência térmica: A maioria das pessoas avaliou o ambiente térmico como levemente frio (27%) e neutro (62%). A grande maioria dos usuários preferiria “não mudar” o ambiente; no entanto, uma parcela menor, mas significativa, preferiria que o ambiente estivesse mais aquecido (21%).
- Aceitabilidade térmica e conforto térmico: O ambiente térmico interno da edificação estudada foi avaliado como aceitável e confortável pela grande maioria das pessoas. Entretanto, o desconforto térmico por frio, principalmente nas mãos e nos pés, foi reportado por algumas pessoas, mesmo que a velocidade do ar fosse avaliada como aceitável, com valores dentro dos valores permitidos pelas normas de conforto térmico durante o período de inverso (limite máximo superior para os valores de temperatura operativa de 0,20m/s). Sistemas de condicionamento personalizados poderiam ser empregados para melhorar a sensação de conforto térmico nas estações de trabalho, diminuindo diferenças na sensação térmica relacionadas à subjetividade dos usuários.
- Aplicabilidade do modelo estático: O método do PMV superestimou a sensação de frio dos usuários nas condições em que o experimento foi realizado (inverno, velocidade do ar baixa e edificação condicionada artificialmente durante todo o ano, com médias de temperaturas internas próximas a 23°C). Os resultados deste estudo sugerem a impossibilidade da utilização de tal modelo, que avalia o ambiente como desconfortável, enquanto os votos reais dos ocupantes demonstram o contrário (AMV médio -0,27 e APD 7%).

Uma quantidade maior de estudos deve ser realizada para investigar o assunto de forma mais aprofundada. No entanto, mesmo que as conclusões desse trabalho se limitem à amostra estudada, as mesmas

poderiam ser extrapoladas para cidades de clima similar, considerando edifícios que operam com ar-condicionado durante o ano inteiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, R. A. A.-C. E. **ANSI/ASHRAE Standard 55** - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2013.
- CÂNDIDO, C. et al. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010.
- CÂNDIDO, C.; DE DEAR, R.; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 379–385, 2011.
- CAO, B. et al. Field study of human thermal comfort and thermal adaptability during the summer and winter in Beijing. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 5, p. 1051–1056, 2011.
- DAGHIGH, R.; SOPIAN, K. Effective Ventilation Parameters and Thermal Comfort Study of Air-conditioned Offices. **American Journal of Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 943–951, 2009.
- DEUBLE, M., DE DEAR, R. Mixed-mode buildings: a double standard in occupants' comfort expectations. **Building and Environment**, v. 54, pp. 53–60, 2012.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. **ASHRAE Transactions**, v. 104, p. 145–167, 1998.
- 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**, v. 13, n. 4, p. 189–202, 2013.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
- FONG, K. F.; CHOW, T. T.; LI, C. Comfort Zone of Air Speeds and Temperatures for Air-conditioned Environment in the Subtropical Hong Kong. **Indoor and Built Environment**, v. 19, n. 3, p. 375–381, 2010.
- HENS, H. S. L. C. Thermal comfort in office buildings: Two case studies commented. **Building and Environment**, v. 44, n. 7, p. 1399–1408, 2009.
- HUMPHREYS, M. A., NICOL, J. F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. **Energy and Buildings**, v. 34, pp. 667–684, 2002.
- HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 63, p. 40–55, 2013.
- HWANG, R.-L. et al. Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1730–1739, 2009.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 7730** - 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. 2005.
- KUCHEN, E.; FISCH, M. N. Spot Monitoring: Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 839–847, 2009.
- MAITI, R. Physiological and subjective thermal response from Indians. **Building and Environment**, v. 70, p. 306–317, 2013.
- MAITI, R. PMV model is insufficient to capture subjective thermal response from Indians. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, n. 3, p. 349–361, 2014.
- MUI, K. W.; WONG, L. T. Neutral temperature in subtropical climates—A field survey in air-conditioned offices. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 699–706, 2007.
- NICOL, F.; HUMPHREYS, M. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 11–17, 2010.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, 2002.
- RICCIARDI, P.; BURATTI, C. Thermal comfort in open plan offices in northern Italy: An adaptive approach. **Building and Environment**, v. 56, p. 314–320, 2012.
- HOYT, T.; SCHIAVON, S.; PICCIOLI, A.; MOON, D.; STEINFELD, K. **CBE Thermal Comfort Tool**. Center for the Built Environment, University of California Berkeley 2013. Disponível em: < <http://cbe.berkeley.edu/comforttool/>>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- VAN HOOFF, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? **Indoor Air**, v. 18, pp. 182–201, 2008.
- VESELÝ, M.; ZEILER, W. Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 401–408, 2014.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e ao CNPq pelas bolsas de estudo que lhes permitiram realizar esta pesquisa. Os autores também agradecem a todos os envolvidos nesta pesquisa de campo, em especial aos usuários da edificação estudada, pela participação voluntária no estudo.