

Revisão da literatura sobre o Voto Médio Estimado e sua aplicabilidade de acordo com literaturas nacional e internacional

Lavinia Maria Mendes Araújo (Universidade Federal da Paraíba) lavinia.mendes2@gmail.com

Rafael Gomes Nóbrega Paiva (Universidade Federal da Paraíba) rafaelgnpaiva@gmail.com

Raphael Costa Moura (Universidade Federal da Paraíba) raphaelcostamoura@gmail.com

Hélton Emanuel Mariz Silva (Universidade Federal da Paraíba) heltonchinoda@hotmail.com

Henrique Augusto Chacon da Silva (Universidade Federal da Paraíba) henriquechaconjp@gmail.com

Resumo:

O conforto térmico é uma área que se preocupa com o bem-estar do homem. Dentre seus objetivos, destaca-se inserir o indivíduo em um ambiente adequado evitando que este tenha excesso de calor ou de frio. Assim, é de grande importância que o homem esteja situado em um ambiente termicamente confortável, pois, do contrário, pode causar influência em seu rendimento como profissional, assim como, danos à sua saúde e a perda de energia. Nesse contexto, Fanger elaborou um modelo que serve como base para tal área de estudo. Esse modelo ficou conhecido mundialmente como PMV (da sigla Predicted Mean Vote), contribuindo assim para os avanços nas pesquisas nessa área e para a adequação dos postos de trabalho. O objetivo deste artigo é realizar uma revisão literária sobre pesquisas acadêmicas que abordam o tema do PMV e discutem sua aplicabilidade e efetividade em diversos ambientes, tanto de forma individual como no aspecto global. Este levantamento foi executado por meio de busca em diversos periódicos de relevância regional, nacional e internacional, buscando observar as diversas perspectivas de autores distintos. Verifica-se que em certos casos o modelo de Fanger necessita de alguma adaptação ou complementação para que atinja uma avaliação ótima devido a variações individuais, regionais ou culturais.

Palavras chave: Conforto Térmico, PMV, revisão da literatura, Fanger.

Review of the literature on the Predicted Mean Vote and its applicability according to national and international literature

Abstract

Thermal comfort is concerned with the welfare of man, inserting it into a suitable environment avoiding this has excess heat, sweating excessively, or feel cold. Thus, it is of great importance that the man should be located in a thermally comfortable as any inadequacy may cause influence on his performance as a professional, damage to their health and still have the effect of energy waste. In this context, Fanger has produced a model that serves as a basis for such studies, this model became known worldwide as PMV (Predicted Mean Vote) contributing to advances in research in this area and the adaptation of jobs. The purpose of this article is to review the literature on academic research on the topic of PMV and discuss their applicability and effectiveness in different environments, both individually and in overall appearance. This survey was performed by searching in various papers of regional, national and international relevance thus seeking to observe the different perspectives of different authors. Thus it appears that in certain cases Fanger model requires some adaptation or supplementation to achieve a good review due to individual, or regional, cultural variations.

Key-Words: Thermal Confort; PMV; Literature Review; Fanger.

1. Introdução

Segundo a ASHRAE (1992), o conforto térmico é definido como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. No entanto, a insatisfação pode ser causada pela sensação corporal de muito frio ou muito calor, assim como, o aquecimento indesejável de uma única parte do corpo.

Têm-se que diversos ambientes, como salas de aula, escritórios e construções, podem submeter quem os ocupa a determinados níveis de insatisfação térmica. Nesse contexto, foi desenvolvido por Fanger em 1970, um modelo matemático estatístico que se propõe a mensurar os níveis de conforto térmico em grupos de pessoas submetidas a determinadas condições físicas e ambientais, chamado Voto Médio Estimado ou PMV. (FANGER, 1970)

Diversos autores (HOWELL; STRAMLER, 1981; HUMPHREYS; SYKES; ROAF, 1995; LEITE, 2003; NICOL, 1993; XAVIER, 2000), assumiram através de estudos, que o PMV não possui validação efetiva para certas condições ambientais, climáticas e individuais. Com isso, este artigo surge com a finalidade de apresentar, a partir de revisão da literatura nacional e internacional, desde 1967 a 2014, o modelo PMV de Fanger, assim como, limitações em relação à sua aplicabilidade.

Nos dias atuais, com a procura de maior efetividade nas ações de vários tipos de organizações, o conforto ambiental é uma variável importante para que as pessoas envolvidas desempenhem suas atividades de forma adequada, e que não resulte em problemas físicos ou psicológicos. Devido a isso, apanhar diversos estudos acerca de uma ferramenta referência nessa variável, como o PMV, é de suma relevância para que se chegue a modelos de mensuração cada vez mais adequados e relevantes nas tomadas de decisão em relação a esta temática.

O presente artigo está estruturado em 3 seções. A primeira é a presente introdução. A segunda o desenvolvimento, o qual expõe conceitos importantes sobre o PMV, bem como, a colocação de vários outros autores acerca do tema deste artigo. Por fim, a conclusão, que realiza um apanhado geral e apresenta as limitações do modelo Fanger.

2. Desenvolvimento

2.1 O modelo PMV de Fanger

O modelo de Fanger, intitulado Predicted Mean Vote (PMV), ou em tradução livre, Voto Médio Estimado, realizado na Dinamarca em 1970, foi construído com o auxílio de uma câmara climatizada a fim de possibilitar o controle de todo o ambiente térmico, em que, os voluntários utilizavam vestuário padronizado e realizavam a mesma atividade sob diferentes condições ambientais.

No estudo, os participantes eram questionados a respeito do conforto ambiental a partir de um dado conjunto de variáveis. O intuito era entender como aquelas condições, determinadas pelo pesquisador, influenciavam o conforto do voluntário e como os mesmos se sentiam em relação ao calor e ao frio. As respostas eram enquadradas em uma escala de sete pontos que refletiam

o grau de conforto que o voluntário estava sentindo, como segue na Figura 1. (CHARLES, 2003).

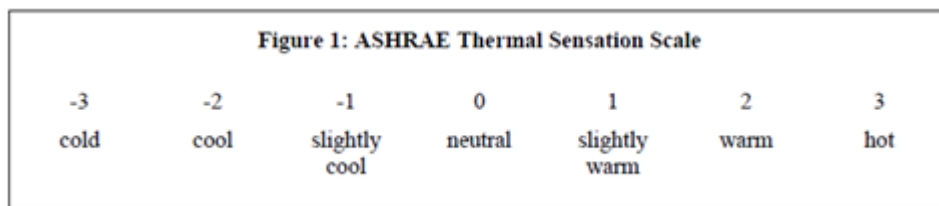


Figura 1 - Escala de Sensação Térmica
Fonte: Adaptado ASHRAE (2001)

O PMV considera seis variáveis, sendo 4 ambientais ou físicas (temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade do ar), e 2 pessoais (taxa metabólica ou nível de atividade, e o isolamento térmico das vestimentas utilizadas), elas caracterizam os mecanismos de troca de calor entre o ambiente e o homem. Xavier (2000) considera outras variáveis que “formam o modelo físico de balanço de calor”, que são:

- a) taxa de produção de calor pelo organismo (taxa metabólica);
- b) taxa de perda de calor por convecção da respiração;
- c) taxa de perda de calor por evaporação da respiração;
- d) taxa de perda de calor por convecção pela pele;
- e) taxa de perda de calor por radiação pela pele;
- f) taxa de perda de calor por evaporação e dissipação do suor pela pele.

Como já mencionado, esse modelo baseia-se em teorias de balanço de calor e termorregulações. Tais teorias aferem que o corpo humano é capaz de manter o balanço térmico com o uso de mecanismos como vasodilatação, secreção de suor, vasoconstrição e calafrios, sob diferentes faixas de variáveis ambientais. (LEITE, 2003)

A termorregulação natural é um mecanismo típico dos animais endotérmicos, que mantém o balanço de calor produzido pelo metabolismo com o calor perdido pelo corpo. Não obstante, Fanger (1970) conclui que tal termorregulação possui significativa eficiência que consegue produzir um equilíbrio de calor sob condições ambientais extremas, as quais resultariam em desconforto.

A partir da ciência desta capacidade de termorregulação humana, conclui-se que existe uma pequena faixa de conforto ambiental, a qual, denota-se que o grau de desconforto é maior à medida que os mecanismos termorreguladores são exigidos para manter o balanço de trocas térmicas. Sendo assim, adota-se, segundo Fanger (1972), que a sensação térmica é uma função da carga térmica ‘L’, isto é, a diferença entre a produção interna de calor e a perda de calor para o ambiente real:

$$L = M - (R + C + E + E_{sk} + E_{sw}) \quad (1)$$

Têm-se que, ‘L’ é a carga térmica (por unidade de área superficial do corpo medida em Wm^2), ‘M’ é o metabolismo (expresso em Wm^2 ou met), R é o calor transferido pela pele por radiação (expressa em Wm^2), C é o calor transferido pela pele por convecção (expressa em Wm^2), ‘E’ é

calor transferido por evaporação pela respiração (em Wm^2), 'Esk' é o calor transferido pela pele por evaporação (em Wm^2), por fim, 'Esw' é o calor trocado pela transpiração (em Wm^2).

Com base experimental realizada em cerca de 1300 pessoas, Fanger conseguiu relacionar a carga 'L' e o metabolismo 'M', apoiado no voto dos participantes do experimento, sujeitos a diferentes condições do ambiente denominado PMV:

$$PMV = [0,303e^{-0,036M} + 0,028]L \quad (2)$$

Fanger (1972) ressalta ainda que o uso do PMV para avaliação do conforto térmico deve se restringir a faixa de -2 a +2, e os seguintes intervalos para os principais parâmetros: UR = 30 a 70%, p_a = 0 a 2700 (Pa), V_a = 0 a 1 m/s, t_r = 10 a 40° (C°), t_a = 10 a 30° (C°), I_{cl} = 0 a 0,310 (m^2/W ou 0 a 2 clo), M = 46 a 232 (W/m^2).

"[...] para ser capaz de prever as condições em que a neutralidade térmica ocorreria, Fanger (1967) investigou os processos fisiológicos do corpo quando se está próximo da neutralidade. Fanger determinou que os únicos processos fisiológicos que influenciam no equilíbrio térmico, neste contexto, foram a taxa de suor e temperatura média da pele, e que esses processos eram uma função do nível de atividade." (CHARLES, 2003)

Considerando a complexidade do PMV a ISO 7730 (ISO, 1994) oferece ferramentas a fim de determinar simploriamente para distintas condições ambientais além de diversas atividades e vestimentas.

2.2. Análise contextual

Têm-se como premissa que o conforto térmico é um estado em que o indivíduo sente satisfação no ambiente em que está inserido. Nesse contexto, o modelo PMV, o qual baseia-se no conceito de termoneutralidade, foi desenvolvido para determinar o nível de tal tipo de conforto, além disso, leva em consideração quatro variáveis físicas e duas metabólicas (YAU; CHEW, 2014). Todavia, no que diz respeito à ambientes abertos Charles (2003), diz que há uma maior dificuldade para mensurar essas variáveis. Assim, nesse tópico, serão apontadas outras posições construídas em relação à efetividade do PMV, quanto à diferenças ambientais, individuais e climáticas.

Por utilizar uma câmara climatizada para o desenvolvimento de sua pesquisa, assim como, determinar valores específicos para algumas variáveis, à exemplo do índice de vestimenta (clo), a reprodutibilidade e generalização do PMV, além de sua aplicação em ambiente real, tornou-se questionável.

Oseland (1994), relata a comparação do voto médio de pessoas em ambiente laboratorial, em escritórios e em residência, sendo os dois últimos reais, isto é, não feitos a partir de simulação. Ao comparar os votos médios, constatou-se uma discrepância causada pelo ambiente físico que influenciou no conforto térmico dos participantes da pesquisa, fator pessoal que não foi considerado por Fanger no desenvolvimento do seu modelo. Além disso, foi verificado que os participantes possuíam diferentes temperaturas de conforto em função do local físico, sendo a menor delas em escritório e a maior em câmeras climatizadas.

Ademais, Xavier (2000) diz que o PMV não leva em consideração os mecanismos de adaptação das pessoas, assim como, seus diferentes estilos de vida, pois baseia-se em um modelo de trocas

de calor entre o homem e o ambiente. Além disso, Nicol (1993) acrescenta que tais mecanismos subjetivos são tão importantes quanto os mecanismos físicos.

Ao que diz respeito às diferenças individuais, têm-se que os estudos de Fanger foram desenvolvidos com participantes brancos e universitários, sendo assim, a validação do modelo PMV, segundo Charles (2003), não é a mesma para outro tipo de população. Com base nisso, Fanger (1970) conclui que a temperatura neutra de um grande grupo de pessoas não depende da idade, sexo, ciclo menstrual, raça, tipo físico, horário do dia ou aclimação fisiológica. Vale salientar que os estudos foram realizados com determinados índices de isolamento térmico (CLO) e de atividades metabólicas (MET), sendo assim, para o autor, isso não significa a uniformidade do ser humano, mas sim que as significativas diferenças podem ser contabilizadas pelo CLO e pelo MET dentro do PMV. No entanto, as diferenças individuais ganham destaque em relação ao gênero, pois, de acordo com Buzanello *et al.* (2003), mulheres apresentam mais sensibilidade à menores temperaturas que os homens, assim como, à aclimação fisiológica.

O atendimento às exigências de conforto térmico é de extrema importância e isso vêm sendo cada vez mais evidente devido a busca por maior eficiência e conservação de energia. Diante disso, têm-se admitido como ferramenta o PMV de Fanger, entretanto, muitos autores contestam esse modelo.

Hensen (1990) verificou através de experiências que uma maior sensibilidade é geralmente encontrada durante o repouso, do que quando se realiza atividades mentais de trabalho. Ideia semelhante também é defendida por Xavier (1999) ao observar que os valores tabelados para as atividades, tabelas da ISO e da ASHRAE, estão carregados de possíveis imprecisões, o que poderia aumentar a margem de erro do estudo, caso ela fosse levada em consideração. Dessa forma, o autor sugere que as análises de conforto térmico sejam realizadas de forma distinta para cada grupo de atividade. Assim, a generalização dos estudos seria possível a partir da melhor caracterização da taxa metabólica, sendo esta, medida de pessoa a pessoa que executa a atividade específica, e não pura e simplesmente estimada para a atividade.

Fabris *et al.* (2006) afirma, através de um trabalho realizado na indústria têxtil, que existe uma necessidade da readequação de algumas normas da ISO, como é o caso da ISO 9920, sobre vestimentas responsáveis pelo isolamento térmico, ISO 8996, da produção metabólica de calor para cada atividade, e o questionário da ISO 10551. Essa última aplica o mesmo questionário para todas as atividades sem avaliar as peculiaridades de cada caso. Para a realidade brasileira, por exemplo, considerando a extensão e a diversidade cultural de tal país, também recomenda a importância da criação de um banco de dados que contenham tais variações regionais para cada região do Brasil para melhor análise do conforto visto que apenas parte desta federação foi alvo de pesquisa e algumas outras regiões ainda não foram avaliadas, tais como as regiões Norte e Nordeste.

Batiz *et al.* (2009) comprova que o estudo do conforto térmico e sua relação com o processo de atenção e memória são de extrema importância para a atividade exercida. Segundo sua pesquisa, verifica-se que existe uma relação direta entre a atenção e a memória e os valores de PMV ao observar que quando os valores de PMV se encontram próximos do valor neutro, ou seja, teoricamente em conforto, a atenção e a memória permanecem inalteradas. Concluindo que na condição neutra, os alunos apresentam bom desempenho.

Resultados semelhantes à Hensen (1990) foram comprovados por Djongyang *et al.* (2010) ao observar, baseado nos estudos de Fanger, que o sistema termorregulador do homem é bastante balanceado de calor eficaz mesmo que o conforto não exista. Segundo sua pesquisa, os únicos processos fisiológicos que influenciam o balanço de calor, neste contexto, são a taxa de suor e

a temperatura da pele, esses processos são uma função do nível de atividade. O modelo de Fanger, desenvolvido principalmente para ambientes interiores também pode ser utilizado para espaços exteriores e o modelo matemático de trocas térmicas entre corpos humanos e seu ambiente na situação de pessoas acordadas pode também ser utilizado na situação de sono, desde algumas modificações.

Yau e Chew (2012) enfatizam que não existe nenhum modelo de conforto que poderia ser aplicado globalmente, visto que as temperaturas de conforto são diferentes para cada indivíduo, sendo um impasse criar um modelo de conforto térmico para ser aplicado a um grande número de pessoas em escala mundial.

Rupp *et al.* (2017) verificou em estudo de campo realizado em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido que o modelo de Fanger não estimou adequadamente a porcentagem de insatisfação térmica das pessoas onde os resultados obtidos sugerem que o modelo PMV é inadequado para o clima avaliado.

A Tabela 1, a seguir, expõe de forma resumida as bibliografias analisadas.

Ano de publicação	Autor da pesquisa	Resultados obtidos
1990	Hensen	Verificou por suas experiências que há maior sensibilidade durante o repouso, na maioria dos casos.
1999	Xavier	Observou que os valores tabelados para as atividades, pelas tabelas da ISO e da ASHRAE, podem conter imprecisões.
2006	Fabris <i>et al.</i>	Em trabalho realizado na indústria têxtil, foi percebido que existe uma necessidade da readequação de algumas normas da ISO, como é o caso da ISO 9920, ISO 8996 e o questionário da ISO 10551
2009	Batiz <i>et al.</i>	Existem uma relação importante entre os processos de atenção e memória e o conforto térmico.
2010	Djongyang <i>et al.</i>	Os processos fisiológicos que contribuem ao balanço de calor são a taxa de suor e a temperatura da pele.
2012	Yau e Chew	Foi verificado um impasse ao criar um modelo de conforto térmico para ser aplicado a um grande número de pessoas em escala mundial
2017	Rupp <i>et al.</i>	Verificou que o modelo de Fanger não estimou adequadamente a porcentagem de insatisfação

Fonte: Elaborado pelos autores.
Tabela 1 – Resumo dos resultados

5. Conclusões

Dada a procura pelo bem-estar humano, seja ele físico ou psicológico, o conforto térmico é pauta de vários estudos desde o século passado tornando-se uma variável de considerável importância para este objetivo.

O modelo Voto Médio Estimado (PMV) de Fanger estima através de fórmula matemática e estatística, a sensação térmica média de um grande grupo de pessoas dentro de um espaço. Além disso, pode ser definido como uma sensação analítica do conforto térmico e leva em consideração seis variáveis, sendo 4 físicas (temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e umidade do ar) e 2 pessoais (isolamento térmico e taxa metabólica).

Partindo da finalidade de apresentar, a partir de revisão da literatura nacional e internacional, desde 1967 a 2017, o modelo PMV de Fanger, assim como, limitações em relação à sua aplicabilidade, este trabalho conseguiu concluir que o PMV nem sempre é um bom estimador de sensação térmica, pois em ambientes abertos as variáveis por ele consideradas são difíceis de serem mensuradas.

Não obstante, o modelo não leva em consideração o mecanismo de adaptação ao ambiente e os diferentes estilos de vida das pessoas, além de variáveis importante como raça, tipo físico, idade, entre outras. Outro ponto dá-se na avaliação de especificidades regionais, necessitando de um maior banco de informações sobre cada região para a avaliação de um conforto térmico mais realista.

Além disso, a generalização dos estudos resulta em possíveis imprecisões nas tabelas das ISOs e da ASHRAE. Sendo assim, são necessárias análises específicas para cada grupo de atividades distintas. Observa-se também, que o processo de memória e atenção é um fator de suma importância para a avaliação do conforto térmico em uma atividade, quais não são considerados no cálculo do PMV.

Por fim, o modelo de Fanger é conceituado a partir da temperatura média da pele, assim como, na taxa de secreção de suor em função da atividade desempenhada, entretanto, o cálculo do PMV leva em consideração a função da carga térmica que atua sobre o corpo. Sendo assim, alega-se a alternativa de levar em consideração a temperatura da pele e a taxa e secreção de suor, ao invés da carga térmica como premissa do critério de sensação térmica.

Referências

- _____. **Ergonomics – Determination of metabolic heat production**, ISO 8996. Genebra 1990.
- _____. **Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**, ISO 10551. Genebra, 1995.
- _____. **Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble**, ISO 9920. Genebra, 1995.
- _____. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**, ISO 7730. Genebra, 1994.
- _____. **Standards for Thermal Comfort**. Londres, Editado por Nicol, F.

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

BATIZ, E.C.; GOEDERT, J.; MORSCH J.J.; JUNIOR, P.K.; VENSKE, R. *Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória*. Produção. Vol. 19, n. 3, p. 477-488, 2009.

BUZANELLO, M.R.; MARTINS, C.V.B. SEGURA, D.C.A.; FILHO, J.L.S. *Avaliação da sensação térmica de trabalhadores de frigorífico expostos a baixas temperaturas*. XXIII ENEGEP, Ouro Preto, 2003.

CHARLES, K.E. *Fanger's Thermal Comfort and Draught Models*. IRC Research Report. Canada, 2003.

DJONGYANG, N.I.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. *Thermal comfort: A review paper*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, n. 9, p. 2626-2640, 2010.

FABRIS, J.P.; LAMBERTS. R.; CAMARGO, M.E.; RUSSO, S.L. *Avaliação do Conforto Térmico de Trabalhadores de uma Indústria Têxtil*. XIII SIMPEP - Bauru, São Paulo. 2006.

FANGER, P.O. *Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation*. ASHRAE Transactions. Vol. 73, n. 2, III4.1-III4.20, 1967.

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

FANGER, P.O. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970.

HENSEN, J.L. M. *Literature Review on Thermal Comfort in Transient Conditions*. Building and Environment. Vol. 25, n. 4, p. 309-316, 1990.

HOWELL, W.; STRAMLER, C.S. *The Contribution of Psychological Variables to the Prediction of Thermal Comfort Judgments in Real World Settings*. ASHRAE Transactions, Atlanta. Vol. 87, n. 1, p. 609-621, 1981.

HUMPHREYS, M.; SYKES, O.; ROAF, S. *Standards for Thermal Comfort*. Chapman & Hall, 1995. Cap. 1: Comfort Temperatures and Climate.

LEITE, B.C.C. *Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – teoria física aliada a estudos de campo*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, 2003.

NICOL, F. *A Handbook for Field Studies Toward an Adaptive Model*. Londres: University of East London, 1993.

OSELAND, N.A. *A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer*. Rev. Energy and Buildings, Lausanne. Vol. 21, n. 1 p. 45-54, 1994.

RUPP, R.F. et al. *Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica*. Ambiente Construído. Vol. 17, n. 1, p. 111-123, 2017.

XAVIER, A.A.P. *Condições de Conforto Térmico para Estudantes de 2º Grau na Região de Florianópolis*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1999.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

XAVIER, A.A.P. *Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – teoria física aliada a estudos de campo.* Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2000.

YAU, Y.H.; CHEW, B.T. *A review on predicted mean vote and adaptive thermal comfort models.* Building Serv. Eng. Res. Technol. Vol. 35, n. 1, p. 23–35, 2014.