

# EQUIPAMENTO PARA MENSURAR CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES NATURALMENTE E ARTIFICIALMENTE CLIMATIZADOS: UM ESTUDO DE CASO EM LABORATÓRIOS DE ENSINO E PESQUISA

MAYARA ROBERTA. M. MUDREK, OSIRIS CANGIOLIERI JUNIOR, ROBERTO Z. FREIRE

*Industrial and Systems Engineering Graduate Program – PPGEPS  
Polytechnic School – EP*

*Pontifical Catholic University of Parana – PUCPR*

*Rua Imaculada Conceição, 1155, CEP 80215-901, Curitiba PR, Brazil*

*E-mails: mayara\_mudrek@hotmail.com; osiris.cangioli@pucpr.br;  
roberto.freire@pucpr.br*

**Abstract**—More and more challenges have arisen in the area of building design due to thermal comfort, energy efficiency and automation applied to buildings. These points became relevant, mainly due to the amount of time spent by people indoors and sustainability of building projects. The objective of this work is to present an equipment that is able to measure and offer the option of remote monitoring thermal comfort, the ComfortMeter. Its functioning is based on the PMV model (Predicted Mean Vote) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). To test its functionality, a case study was carried out on an academic laboratory, in which climatic factors were measured and the variables associated to the occupants, in this case students and professor, were also taken into account. Besides the PMV model, an addition adaptive thermal comfort index, which was proposed by ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) known as ACS (Adaptive Comfort Standard) was considered in the results as recent studies point ACS an interesting approach for naturally ventilated environments. Results revealed that thermal discomfort is predominant in the laboratory during hotter days, and proved the possibility of implementation of ACS in the ComfortMeter equipment.

**Keywords**—thermal comfort, remote evaluation, indoor environments, predicted mean vote, adaptive comfort standard.

**Resumo**—Cada vez mais desafios vem surgindo na área de projetos de edificações em função do conforto térmico, eficiência energética e automação residencial. Estes pontos passaram a ser relevantes principalmente pelo tempo em que as pessoas passam em ambientes internos associado a sustentabilidade dos edifícios. O objetivo deste trabalho é apresentar um equipamento que é capaz de medir e oferecer a opção de monitoramento remoto do conforto térmico, o ComfortMeter. Seu funcionamento baseia-se no modelo PMV (Voto Médio Estimado) e na Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD). Para testar sua funcionalidade, foi realizado um estudo de caso em um laboratório acadêmico, onde fatores climáticos foram mensurados e as variáveis relativas aos ocupantes, neste caso alunos e professor, também foram consideradas. Além da análise pelo PMV, uma análise levando-se em conta um modelo adaptativo proposto pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) conhecido por ACS (*ASHRAE Comfort Standard*) também foi incluída nos resultados, já que pesquisas recentes apontam o ACS como uma das melhores escolhas no caso da avaliação de ambientes naturalmente ventilados. Os resultados revelaram desconforto térmico nos dias quentes e o estudo do ACS provou que existe a possibilidade de implementá-lo no ComfortMeter.

**Palavras-chave**—conforto térmico, avaliação remota, ambientes internos, voto médio estimado, padrão de conforto adaptativo.

## 1 Introdução

Julgar que um ambiente é aceitável termicamente é associar ao termo satisfação, e que esta seja sentida por, no mínimo, 80% do grupo ocupante de um determinado ambiente. Condições ambientais e pessoais são os fatores que determinam o conforto térmico, entre elas quatro fatores ambientais (temperatura, radiação térmica, umidade, velocidade do ar) e duas pessoais (atividade desempenhada relacionada com o índice metabólico e isolamento térmico das roupas) (ASHRAE 55, 2013). Estas condições, entre outras, foram sintetizadas e fazem parte de modelos criados por pesquisadores internacionais ao qual tem o objetivo de estimar e avaliar o conforto térmico.

Dentre os trabalhos em destaque nesta linha, o estudo proposto por Fanger (1972), apresentou um modelo com base em simulações laboratoriais em câmaras climatizadas, na qual as condições ambientais podiam ser controladas. Este modelo, denominado de PMV (Voto médio estimado), é aceito e utilizado até os dias atuais, porém segue uma abordagem analítica

que enfatiza que há um padrão nos fatores em ambientes interiores atestando condições de conforto constantes, situação observada apenas em ambientes controlados (Abrantes, 2012).

Como alternativa ao PMV, foi proposto um modelo adaptativo, no qual admite-se que a temperatura de conforto não é uma constante, podendo variar em função das estações do ano ou em relação a faixas de temperatura em que as pessoas estejam acostumadas (Humphreys, 1979), impactando nas preferências e expectativas dos ocupantes (Brager e de Dear, 2001).

Um ambiente naturalmente ventilado se enquadra na proposta adaptativa, já que quando o desconforto térmico ocorre, os ocupantes o solucionam por meio da abertura ou fechamento de janelas, mudanças de vestimentas, entre outras soluções possíveis.

No estudo proposto por Brager e de Dear (1998), os autores apontaram que o PMV é eficiente em ambientes artificialmente climatizados, isso não acontece em naturalmente climatizados.

Levando em conta que o conforto térmico não é um item que se pode estimar de forma fácil devido as diversas variáveis associadas ao problema. E que pes-

soas podem tentar ajustar a sensação de conforto individualmente (Shove, 2003; Shove et al., 2008), a preocupação em manter a sensação de conforto térmico ambiental o mais próximo possível do ideal acabou sendo incorporada no projeto de edificações, já que as pessoas vem passando cada vez mais tempo no interior de ambientes fechados (Burnett et al., 2000).

Além disso, sabe-se que condições precárias de conforto térmico tem relação com o desempenho das pessoas nas atividades que elas exercem. No que diz respeito ao trabalho, existe uma maior probabilidade de erros e suscetibilidade a doenças quando as condições térmicas do ambiente não são favoráveis aos ocupantes (Rivero, 1986). Alguns trabalhos têm associado conforto térmico com qualidade do ar, de forma a atender novas exigências para o desempenho de atividades no interior de ambientes com o foco em máxima produtividade (Pereira et al., 2014; Hweij et al., 2016; Stazi et al., 2017).

Em função do que foi mencionado anteriormente, julga-se importante o monitoramento de todos os fatores climáticos e pessoais relacionados ao conforto térmico. Neste sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento e teste de uma unidade de medição do conforto térmico: o ComfortMeter. Os testes do equipamento foram realizados por meio de um estudo de caso em um ambiente acadêmico na cidade de Curitiba (PR), Brasil, considerando que estudantes e professores permanecem longos períodos dentro de laboratórios e salas de aula.

Na próxima seção deste artigo, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre os modelos de conforto térmico adotados durante este estudo. A seção 3 descreve o equipamento projetado e construído para estimar o conforto térmico no interior de ambientes. Já a seção 4, descreve o estudo de caso utilizado para avaliar o equipamento. Para finalizar este trabalho, a seção 5 apresenta os resultados obtidos durante a análise no ambiente acadêmico e, na seção 6, as conclusões.

## 2 Modelos de Conforto Térmico

Ao longo da evolução, o ser humano desenvolveu diversos mecanismos para permitir que sua adaptação o mantivesse na condição de bem-estar, incorporando elementos para manter sua saúde física e seu senso de satisfação (Ruas, 1999). A sensação de satisfação em um ambiente de condições térmicas é o conforto térmico. Afirmar que um indivíduo está em conforto térmico significa que há ausência de troca de calor do corpo do indivíduo com o ambiente em questão, considerando que a temperatura da pele e do suor estejam dentro dos limites aceitáveis (ASHRAE, 2013).

Alguns aspectos influenciam o conforto térmico, podendo ser físicos ou ambientais, individuais/termo fisiológicos e também psicológicos (ASHRAE, 2013). Em função destes aspectos que impactam no nível de conforto térmico, vários estudos foram realizados afim de sintetizá-los e gerar índices que possam medir

esse nível de conforto, esses são chamados modelos de conforto térmico.

Uma das abordagens utilizadas nos modelos de conforto térmico, considera que os indivíduos frequentadores do ambiente analisado sejam idênticos e que suas preferências térmicas podem ser padronizadas em ambientes internos controlados, garantindo condições de conforto permanente. É uma forma analítica de análise e é representada pelo modelo PMV (*Predicted Mean Vote*).

Outra abordagem conjectura que, se houver mudanças que possam a vir causar desconforto térmico, os próprios ocupantes terão reações no sentido de sanar esse desconforto, como o ato de interromper ou favorecer um fluxo de ar por meio da abertura ou fechamento de janelas, acionamento de um sistema mecânico de ventilação ou troca de vestimentas. O modelo ACS (*Adaptive Comfort Standard*) utiliza esse tipo de abordagem, que é denominada adaptiva.

As próximas subseções descrevem os dois modelos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, o PMV e o ACS.

### 2.1 Voto Médio Estimado (PMV)

O Voto Médio Estimado (PMV) é o padrão de análise de conforto mais tradicional. Até as adaptações da zona de conforto já previamente propostas, que são relacionadas com as preferências e tolerâncias dos ocupantes, são um complemento do modelo PMV (é o caso do modelo ACS).

O *Predicted Mean Vote* (PMV) é um modelo proposto por Fanger para classificar o nível de conforto térmico de um ambiente por meio de uma escala dividida em 7 níveis (Fanger, 1972). Para encontrar um valor de conforto dentro dessa escala, o seguinte cálculo é efetuado:

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

onde  $M$  é a taxa metabólica ( $W/m^2$ ),  $W$  o trabalho mecânico ( $W/m^2$ ),  $f_{cl}$  a razão entre a área da superfície do corpo vestido pela área do corpo nu (sem dimensão),  $t_a$  a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ),  $t_r$  a temperatura radiante média ( $^{\circ}C$ ). Além disso,  $p_a$  representa a pressão parcial do vapor de água (Pa),  $h_c$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ ) e  $t_{cl}$  define a temperatura de superfície das roupas utilizadas ( $^{\circ}C$ ). O resultado encontrado se encontra entre o intervalo de -3 a 3 caracterizando a sensação térmica dos indivíduos. O índice zero caracteriza um ambiente confortável para seus ocupantes, mas a ASHRAE considera que um ambiente que apresente o índice PMV

entre +0,5 e -0,5 como ideal para o conforto. A escala sétima é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Escala proposta por Fanger (adaptado) (ASHRAE, 2013).

PMV	Sensação Térmica	PPD
-3	Muito frio	99,1%
-2	Frio	76,4%
-1	Leve sensação de frio	26,8%
0	Neutralidade térmica	5,00%
+1	Leve sensação de calor	26,4%
+2	Calor	75,7%
+3	Muito quente	99,1%

O PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), apresentado na tabela acima, baseia-se no PMV e mede a porcentagem de pessoas que estão insatisfeitas termicamente. É esperado que nunca haja uma totalidade (100%) de pessoas satisfeitas em termos de conforto térmico, por isso é admitido que um ambiente seja confortável quando pelo menos 80% dos ocupantes estejam satisfeitos, ou seja, um PPD igual ou inferior a 20% é considerado ideal (ASHRAE, 2013). O cálculo do PPD é apresentado abaixo em função do PMV.

$$PPD = 100 - 95e^{-[0,03353.PMV^4 + 0,2179.PMV^2]} \quad (2)$$

## 2.2 Adaptive Comfort Standard (ACS)

As descobertas de alguns experimentos realizados em alguns países com edifícios naturalmente climatizados, artificialmente climatizados e poucas unidades híbridas (naturalmente e artificialmente climatizados) levaram a uma proposta do ACS (*Adaptive Comfort Standard*) como alternativa ao método PMV (toda a análise da experimentação pode ser encontrada em de Dear e Brager, 2002).

O método foi incorporado com base no princípio adaptativo, de que se houver um desconforto térmico, os ocupantes de alguma forma conseguem contorná-lo e restaurar o conforto.

A norma ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) admite o ACS como complemento às equações de Fanger, no sentido de que com as alterações propostas a análise se tornaria mais receptiva às sensações térmicas humanas. Este índice é somente aplicável em espaços que sejam naturalmente condicionados, regulados pelos ocupantes através de abertura ou fechamento das janelas, desde que sejam de fácil acesso. O ambiente não deve possuir sistema de refrigeração mecânica, como ar condicionado, resfriamento radiante ou resfriamento dessecante.

Outra limitação para uso do modelo é de que é aceitável que o ambiente analisado tenha um sistema de aquecimento, porém não se deve estar em operação para a aplicabilidade do ACS. Já em relação aos ocupantes, estes devem estar realizando apenas atividades sedentárias (1,0 met a 1,3 met ou 58W/m<sup>2</sup> a 75,4W/m<sup>2</sup>) e são permitidas as adaptações de roupas de acordo com às condições térmicas (0,5 a 1,0 clo ou 0,0775m<sup>2</sup>°C/W a 0,155m<sup>2</sup>°C/W).

Por fim, como requisito para utilizar o ACS, a temperatura exterior média deve estar entre 10°C e 33,5°C. Se a temperatura externa ficar fora deste intervalo o gráfico não se aplica, restando a opção de avaliação do conforto por meio do PMV, o que ainda é confiável já que ele é eficaz para prever respostas de pessoas em ambientes naturalmente ventilados em condições muito quentes (de Dear e Brager, 2002).

A forma de cálculo da temperatura ideal de conforto (*optimum comfort temperature*) se correlaciona com a temperatura média externa mensal ( $Temp_{média\ ext}$ ), que é a temperatura obtida por meio da média aritmética das temperaturas médias coletadas nas 24 horas de cada dia, sua equação é definida por:

$$T_{conf} = 0,31 * Temp_{média\ ext} + 17,8. \quad (3)$$

O resultado encontrado a partir da equação 3 é posicionado dentro de uma zona de conforto (ponto central), que permite, para um nível de aceitabilidade de 90% uma variação de até 5°C e de 7°C para 80% de aceitabilidade. O gráfico utilizado para análise é exibido na figura 1.

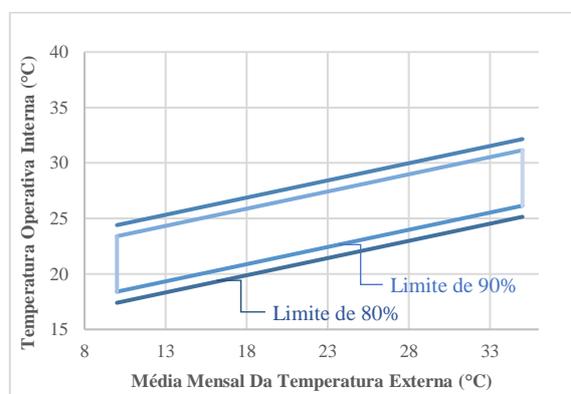


Figura 1. Gráfico para análise da temperatura de conforto pelo modelo ACS.

## 3 Equipamento para Mensurar Conforto Térmico

O ComfortMeter é um equipamento que efetua todas as medições necessárias relativas às variáveis envolvidas nos modelos selecionados para avaliar o conforto térmico, PMV e ACS. Os sensores instalados na unidade medem a temperatura de bulbo seco (temperatura do ar em °C), umidade relativa (%), temperatura radiante média (°C) e velocidade do ar (m/s), que juntamente com as informações selecionadas pelo usuário (atividade realizada e tipo de roupas utilizadas), tornam possível a determinação do nível de conforto por meio do PMV.

Foram categorizadas algumas atividades e tipo de roupas para o usuário selecionar (Tabela 2 e 3), porém a qualquer momento que se julgar necessário, as categorias podem ser estendidas para outros níveis de acordo com a necessidade do usuário.

Tabela 2. Opções de atividades desempenhadas disponíveis para seleção no ComfortMeter.

Opções de Atividade Desempenhada	M: Taxa Metabólica (W/m <sup>2</sup> )
Deitado ou reclinado	46
Sentado ou relaxado	58
Em atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório)	70
Atividade em pé leve (compras, laboratório, indústria leve)	93
Atividade média (trabalho doméstico, trabalho em máquinas)	116

Tabela 3. Categorias de roupas acessíveis para escolha do usuário no ComfortMeter.

Vestimentas Predefinidas	I <sub>cl</sub> : Isolamento Térmico (clo)
Roupas íntimas + vestido + sandálias	0,33
Roupas íntimas + camiseta manga curta + calça + meias + sapatos	0,47
Roupas íntimas + camisa de manga comprida + calças + meias + sapatos	0,63
Roupas íntimas + camiseta manga longa + jaqueta + meia grossa + sapatos	1,00

### 3.1 Hardware

Sensores para medir a temperatura, umidade relativa, temperatura radiante média e velocidade do ar fazem parte da unidade de medição que tem como especificações de dimensão 12,7 cm × 12,7 cm × 9,50 cm. Seu design e o protótipo em sua versão atual são exibidos na figura 2.

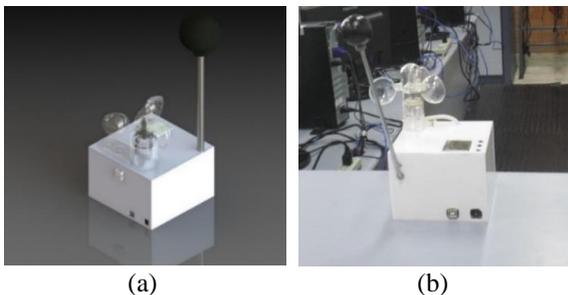


Figura 2. Visão isométrica do ComfortMeter: (a) design; (b) protótipo (Mudrek, 2015).

### 3.2 Software

O software utilizado para monitoramento foi desenvolvido no software LabVIEW (2017), da *National Instruments*. Utilizando-o é possível monitorar todas as variáveis climáticas medidas e os índices de conforto PMV e PPD em tempo real.

Na interface com o usuário, gráficos dos modelos PMV e PPD são apresentados e todos os dados coletados podem ser exportados para um arquivo texto.

A ideia de adicionar um modelo adaptativo no ComfortMeter é que, em ambientes naturalmente ventilados, informações mais realistas sobre a sensação de

conforto térmico dos ocupantes podem ser obtidas através do ACS. Desta forma, o usuário terá autonomia para decisão se o ambiente é naturalmente ventilado ou artificialmente climatizado efetuando o cálculo do modelo apropriado para cada situação.

## 4 Estudo de Caso: Uma análise de Conforto Térmico em Laboratórios de Ensino e Pesquisa

O Estudo de Caso foi proposto para validar o funcionamento do equipamento ComfortMeter em um laboratório acadêmico, onde são ministradas aulas e também acontecem atividades de pesquisa. Sua lotação máxima compreende dois professores e 20 alunos, distribuídos em 4 bancadas com 5 computadores cada. Suas dimensões são de 9,87 m × 7,57 m × 4,56 m caracterizando seu comprimento, largura e altura, respectivamente.

O processo de monitoramento compreendeu medições em 3 dias consecutivos (4, 5 e 6 de setembro de 2017), no período diurno e noturno (horários em que poderiam ocorrer as aulas), com intervalos de 5 minutos para três situações, durante uma hora cada. A primeira considerando um estudante sentado durante uma aula (1), a segunda com outro estudante sentado, mas com um ventilador ligado (2) e a terceira captando dados em relação a um professor dando aula em pé (3).

Dentro do laboratório há dois ventiladores instalados no fundo da sala e janelas que normalmente permanecem abertas. Em dias considerados quentes, a porta na lateral da sala fica aberta e que, juntamente com as janelas, caracterizam o ambiente por ter ventilação natural cruzada. Em dias de sol, principalmente no período da tarde, a radiação solar afeta as condições térmicas do laboratório pois a incidência solar é direta e reflete no lado oeste do prédio, onde ficam as janelas. A planta baixa do laboratório acadêmico utilizado neste o estudo de caso é apresentado na figura 3.

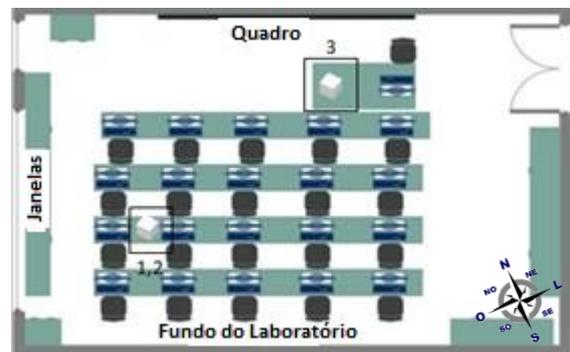


Figura 3. Design do laboratório e localização do ComfortMeter para cada situação analisada (1, 2, 3).

## 5 Resultados

Três situações foram abordadas no estudo de caso. A primeira, um estudante na posição sentado e

escrevendo. A segunda situação compreendendo a mesma situação anterior, porém com os ventiladores em funcionamento. A terceira situação diz respeito ao professor ministrando uma aula, em pé.

Nas situações abordadas, considerando os alunos, a categoria de roupas inserida para cálculo do PMV é considerada leve, devido ao calor. A composição da vestimenta seria: roupas íntimas, camiseta de manga curta, calça, meias e sapatos. Como atividade realizada, considerou-se uma atividade sedentária, já que os alunos permanecem sentados fazendo pequenos movimentos de escrita. Na situação do professor, roupas formais de trabalho foram inseridas: roupas íntimas, camisa de manga longa, calça, meias e sapatos. Já quanto à atividade desempenhada pelo professor, foi considerada uma atividade leve em pé, levando em conta que o professor passa a maior parte do tempo da aula escrevendo no quadro e discutindo os temas de estudo com os alunos de forma interativa.

Com as medidas das variáveis climáticas aferidas pelos sensores do ComfortMeter pode-se constatar que, em comparação com a temperatura externa coletadas no site AccuWeather (AccuWeather, 2017), a temperatura dentro do laboratório estava 7°C acima. Nota-se que, neste período, não haviam aulas sendo ministradas, portanto a lotação da sala era mínima. No período noturno, no qual o laboratório se encontrava com a sua lotação máxima, a temperatura interna chegou a ficar 10°C acima da temperatura externa constatada no momento da medição. Essa grande diferença entre as temperaturas se deve, principalmente, devido à incidência de radiação solar na lateral do laboratório acadêmico na parte da tarde, sendo que há alta capacidade térmica dos materiais utilizados na construção do edifício. Com essa averiguação, já se tem uma premissa de que o laboratório não é confortável termicamente, mas foram traçados gráficos para comprovação baseando-se nos dados coletados pelo ComfortMeter.

As figuras 4 e 5 apresentam os índices de conforto térmico PMV e PPD para os três dias de medição, considerando a situação dos estudantes sentados, no período diurno e noturno, respectivamente.

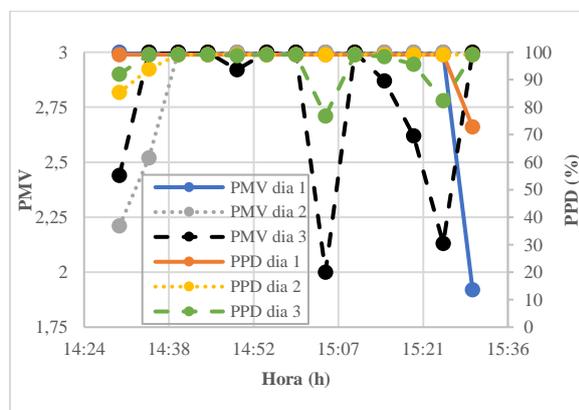


Figura 4. Resultados do nível de conforto por meio do PMV/PPD para a situação do estudante sentado no período diurno.

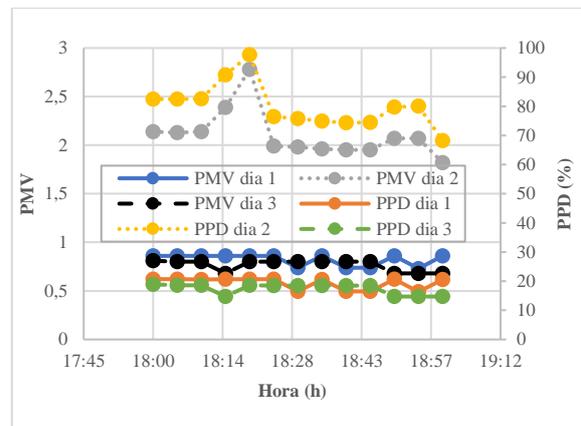


Figura 5. Resultados do nível de conforto por meio do PMV/PPD para a situação do estudante sentado no período noturno.

Como pode ser observado em ambos os períodos, durante os três dias analisados os estudantes estariam termicamente desconfortáveis de acordo com o PMV.

Os resultados da situação de que o estudante está sentado, mas com o ventilador funcionando no ambiente é exibido nas figuras 6 e 7.

Com o ventilador ligado não houveram mudanças significativas comparadas com os gráficos anteriores em termos de conforto, já que para todos os valores de PMV encontrados o valor está acima de 0,5, ou seja, acima do limite máximo para a condição de conforto térmico aceitável. Todavia, o desconforto térmico neste caso é menos agressivo no período da noite.

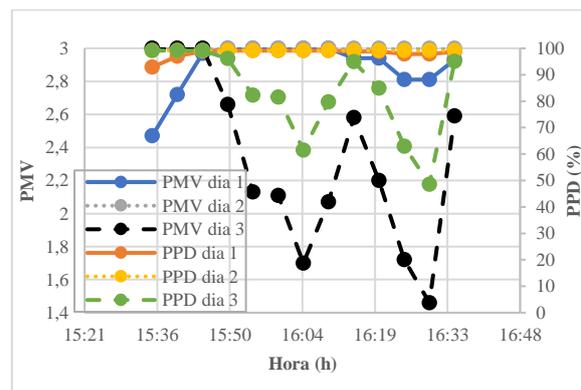


Figura 6. Resultados do PMV/PPD para a situação do estudante sentado com ventilador ligado no período diurno.

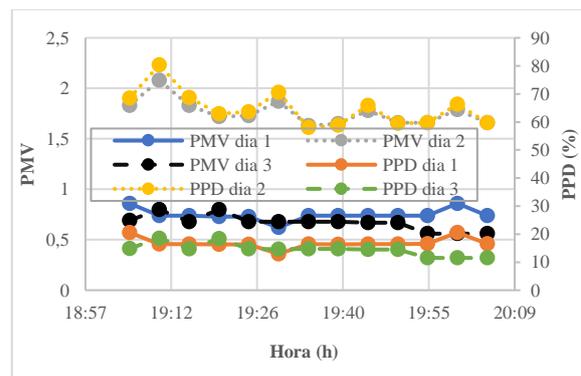


Figura 7. Resultados do PMV/PPD para a situação do estudante sentado com ventilador ligado no período noturno.

Os índices PMV e PPD gerados em relação a um professor dando uma aula estão exibidos nos gráficos 8 e 9.

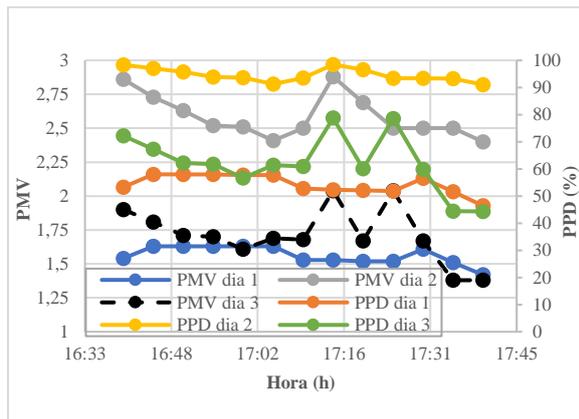


Figura 8. Resultados do conforto térmico (PMV/PPD) para a situação do professor ministrando uma aula no período diurno.

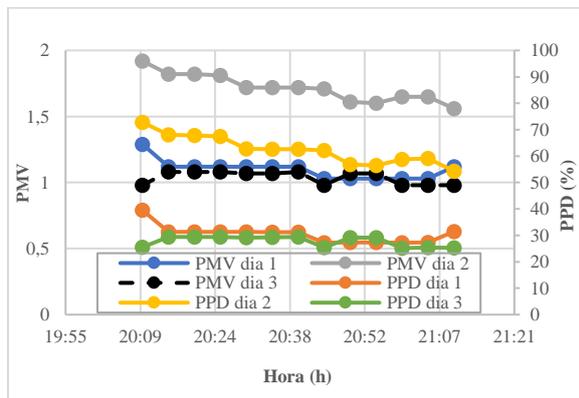


Figura 9. Resultados do conforto térmico (PMV/PPD) para a situação do professor ministrando uma aula no período noturno.

Nas figuras 8 e 9 também são observados um desconforto térmico no período diurno e noturno (índices fora do intervalo de PMV de +0,5 e -0,5).

A próxima análise é feita em relação ao índice ACS, já que este deveria apresentar uma aproximação mais real quanto à sensação de conforto térmico dos ocupantes em ambientes naturalmente ventilados, sendo ideal para o estudo de caso deste trabalho.

Utilizando as medidas de temperatura obtidas pelo ComfortMeter e os dados das temperaturas do mês de setembro de 2017 (época que foi realizado o estudo de caso) coletados no site do INMET (INMET, 2018), foi possível traçar os gráficos do ACS considerando as três situações abordadas no estudo de caso.

As figuras 10 e 11 representam os resultados do conforto térmico gerados pelo modelo ACS para a situação do estudante sentado no período diurno e noturno.

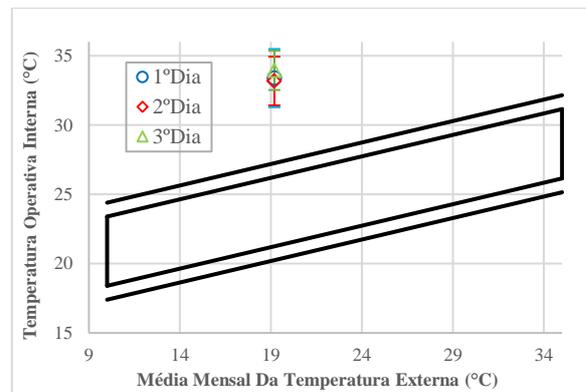


Figura 10. Resultados do conforto térmico pelo modelo ACS para a situação do estudante sentado no período diurno.

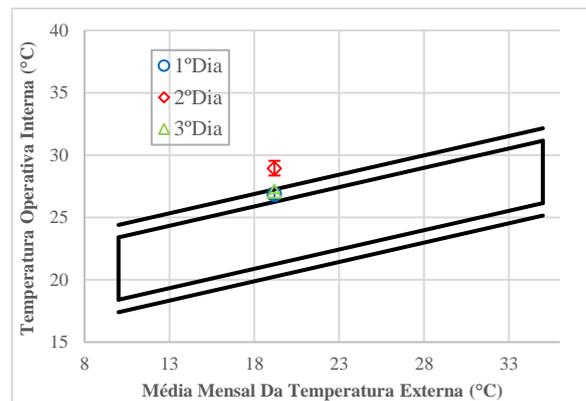


Figura 11. Resultados do conforto térmico pelo modelo ACS para a situação do estudante sentado no período noturno.

Como observado na figura 10, em que os resultados gerados encontram-se longes da região de 80% e 90% de aceitabilidade, afirma-se que os estudantes estariam desconfortáveis termicamente no ambiente. Na figura 11, no período noturno, pode-se observar que no 2º dia houve desconforto térmico, mas que no 1º e no 3º dia o conforto térmico ficou no limite superior dentro da aceitabilidade de 80%. Comparado com o resultado do índice PMV para a mesma situação, este considerou aceitáveis as medições enquanto a abordagem PMV teve resultado entre +0,7 e +1,0, o que de acordo com a ASHRAE não garante o conforto necessário para os ocupantes.

Como o modelo ACS vem se difundindo mais para análise de ambientes naturalmente ventilados e esta situação se encaixa dentro das limitações impostas pelo método, pode-se afirmar que no 1º e no 3º dia de medições (à noite) um estudante sentado, perto da janela, com roupas leves se sentiria confortável dentro do laboratório.

As figuras 12 e 13 ilustram a situação do estudante sentado com o ventilador funcionando no ambiente durante período diurno e noturno, nessa ordem.

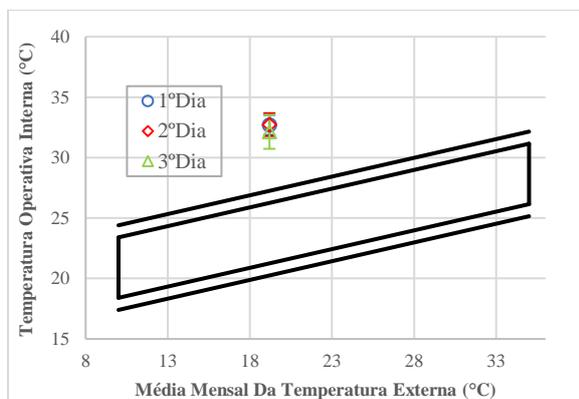


Figura 12. Resultados do conforto térmico pelo modelo ACS para a situação do estudante sentado com o ventilador ligado no período diurno.

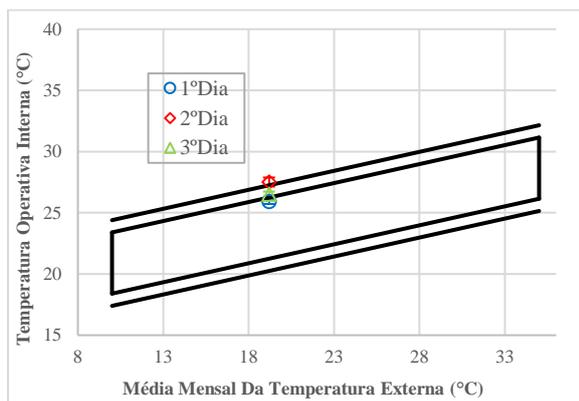


Figura 13. Resultados do conforto pelo modelo ACS para a situação do estudante sentado com o ventilador ligado no período noturno.

Como análise das figuras anteriores, pode-se afirmar que no período diurno não ocorreria situação confortável para os estudantes. E em relação ao período noturno, o 1º e o 3º dia tiveram condições favoráveis, mesmo estando no limite entre conforto e desconforto. Esta análise se assemelha com a anterior, pois o ventilador em funcionamento não alterou significativamente os dados medidos.

As figuras 14 e 15 ilustram a situação de um professor ministrando aulas no período diurno e noturno.

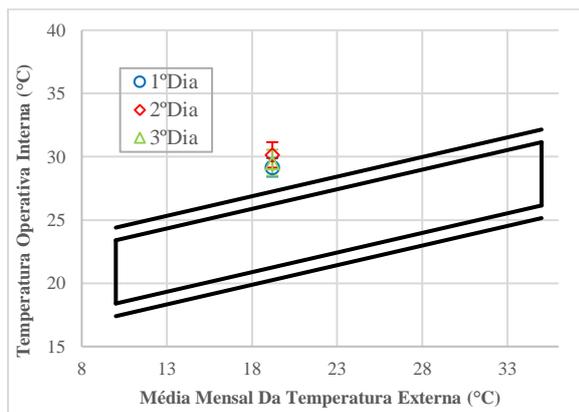


Figura 14. Resultados do conforto térmico pelo modelo ACS para a situação do professor no período diurno.

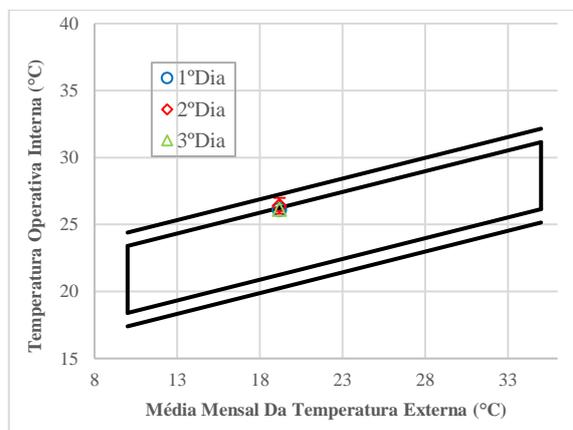


Figura 15. Resultados do conforto térmico pelo modelo ACS para a situação do professor no período noturno.

Como pode ser observado na figura 14, o professor não estava termicamente confortável neste dia durante a manhã.

Já na figura 15, houve conforto térmico dentro do limite superior aceitável de 80%. Porém esta análise é desacreditada visto que a atividade que o professor desempenha tem um gasto metabólico de  $93 \text{ W/m}^2$  (atividade leve em pé), o que corresponde a 1,60 Met ( $1 \text{ Met} = 58 \text{ W/m}^2$ ), não respeitando os limites impostos pelo método. Para estas situações, a análise do PMV seria a adequada para avaliar a condição de conforto térmico do professor.

## 6 Conclusões

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um estudo de caso para validação do equipamento que mede conforto térmico, o ComfortMeter. Como pode ser constatado, o equipamento cumpriu com seu objetivo de obter as medições para cada situação analisada (dos estudantes e dos professores), afirmando, em sua maioria, que o laboratório é desconfortável termicamente para altas temperaturas.

A peculiaridade na análise foi de que, em algumas situações, o modelo ACS apresentou condições de conforto favoráveis. Um exemplo disso foi apresentado nos gráficos do PMV, onde as medições se encontravam afastadas (um pouco acima) do limite aceitável de +0,5, mas que no ACS uma aceitação na faixa de 80% foi obtida. Esta situação se dá, principalmente, pelo modelo ser adaptativo e considerar que para pequenos desconfortos os ocupantes são livres para executar algumas ações como abertura ou fechamento de janelas, retirada ou colocação de roupas para se sentirem mais confortáveis termicamente.

Todavia, é importante afirmar que, como este estudo foi realizado pelo período de 3 dias no mês de setembro, isso não justifica a situação anual do ambiente em termos de conforto, sendo que este não é o mês mais quente nem o mais frio para esta localidade (Curitiba, PR).

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq – processo: 304783/2017-0) do Brasil pelo financiamento dessa pesquisa.

## Referências Bibliográficas

- Abrantes, J. B. C. (2012). Implicações do Conforto Térmico no Consumo Energético – Uma Hipótese de Modelo Adaptativo Aplicada ao Verão. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- AccuWeather (2017). Pesquisa Prado Velho, Brasil. Consultado nos dias 4, 5 e 6 de setembro de 2017. Disponível em <<https://www.accuweather.com/pt/br/prado-velho/2732372/weather-forecast/2732372>>
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND REFRIGERATING ENGINEERS – ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
- Burnett, R.; Aaron, S. D.; Leech, J. A.; Nelson W. and Raizenne, M. (2000). Outdoor Air Pollution Epidemiologic Studies. American Journal of Respiration and Critical Care Medicine, Vol. 161, No.3, pp. A308.
- Brager, G. S. and de Dear, R. J. (1998). Thermal Adaptation in the Built Environment: A Literature Review. Energy and Buildings, Vol. 27, No.1, pp. 83-96.
- Brager, G. S. and de Dear, R. (2001). Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Oxford Brookes University, UK.
- De Dear, R. J. and Brager, G. S. (2002). Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings, Vol. 34, pp. 549-561.
- Fanger, P. O. (1972). Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York – USA.
- Humphreys, M. A. (1979). The Influence of Season and Ambient Temperature on Human Clothing Behaviour, in P.O. Fanger and O. Valbjorn (eds): Indoor Climate, Danish Building Research, Copenhagen, pp. 669-713.
- Hwejj, W. A.; Ghaddar, N.; Ghali, K. and Habchi, C. (2016). Optimized Performance of Displacement Ventilation Aided with Chair Fans for Comfort and Indoor Air Quality. Energy and Buildings, Vol. 127, pp.907-919.
- INMET (2018). Pesquisa Data Inicial: 01/09/2017 e Data Final 30/09/2017. Consultado no dia 15 de março de 2018. Disponível em <[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTgwNw==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTgwNw==)>
- LabVIEW 2017 for Windows (2017). Data monitoring software. [S.l.]. National Instruments, version 17.0
- Mudrek, M. R. M. (2015). Automação Voltada ao Monitoramento das Condições de Conforto Térmico no Interior de Ambientes. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, Brasil.
- Pereira, L. D., Raimondo, D., Corgnati, S. P. and Silva, M. G. da (2014). Assessment of Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Portuguese Secondary Classrooms: Methodology and Results. Building and Environment, Vol. 81, pp. 69-80.
- Rivero, R. (1986). Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural. D.C. Luzzatto Editores, Porto Alegre, 2ª edição.
- Ruas, A. C. (1999). Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho. Fundacentro.
- Shove, E. (2003). Comfort, Cleanliness and Convenience. Berg, Oxford.
- Shove, E.; Chappells, H.; Lutzenhiser, L. and Hackett, B. (2008). Comfort in a Lower Carbon Society. Building Research & Information, Vol. 36, No. 4, pp. 307-311.
- Stazi, F., Naspi, F., Ulpiani, G. and Perna, C. Di (2017). Indoor Air Quality and Thermal Comfort Optimization in Classrooms Developing na Automatic System for Windows Opening and Closing. Energy and Buildings, Vol. 139, pp. 732-746.