

ESTUDO DO CONFORTO TÉRMICO EM SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO

Lucas Cardoso (1); Eduardo Vedovetto (2); Paula Sardeiro (3)

(1) Graduando em Engenharia Civil, ra88570@uem.br

(2) Graduando em Engenharia Civil, vedovettu@gmail.com

(3) Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Civil, pssvanderlei@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil, Maringá-PR, 87020-900

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar o conforto térmico nas salas de aula de uma instituição de ensino em Maringá – PR. Foram abordadas as variáveis subjetivas e as variáveis físicas que influenciam o conforto térmico na sala de aula. Para a atribuição das variáveis subjetivas, foram aplicados questionários para descobrir a opinião dos usuários a respeito do conforto térmico no local, e para as variáveis físicas foram realizadas medições *in loco*. Após todas as medições físicas e subjetivas serem coletadas, foram feitas análises de desempenho usando o VME (Voto Médio Estimado) como parâmetro, avaliando se há disparidade na preferência térmica e aceitação dos ocupantes. Os resultados obtidos ressaltam a importância da opinião dos usuários como subsídio na avaliação térmica de uma edificação.

Palavras-chave: conforto térmico, desempenho térmico, salas de aula.

ABSTRACT

This work aims to study the thermal comfort in the classrooms of an educational institution, in Maringá – PR. Subjective and physical variables that influence the thermal comfort in the classrooms were analyzed. To assign the subjective variables, questionnaires were applied to find out the students' opinion about the thermal comfort in the place, and as for the physical variables, *in loco* measurements were obtained. After all physical and subjective measurements were collected, analyses of performance were made using the PMV (Predicted Mean Vote) as a parameter, noticing if there were differences in the thermal preferences and acceptance of the occupants. The obtained results highlight the importance of the occupant's opinion as a baseline for the thermal evaluation study of a building.

Keywords: thermal comfort, thermal performance, classrooms.

1. INTRODUÇÃO

Ao se tratar da satisfação do homem com o meio térmico que o rodeia, a associação com o conceito de conforto térmico ocorre quase que instantaneamente. Como disse Xavier (1999), a definição de P. O. Fanger em 1970 se tornou clássica ao determinar conforto térmico como “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, sendo atualmente utilizada em normas e manuais de conforto como a ANSI/ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994).

Segundo ANSI/ASHRAE 55 (2004), conforto térmico é uma condição física e psicológica que expressa a satisfação do homem com o ambiente, seja ela no ambiente externo ou interno. Isso nos faz compreender que, para a maioria das pessoas o conforto nada mais é do que a íntegra sensação de bem-estar. Sensação esta que é essencialmente subjetiva, dependendo da percepção, expectativa e preferência de cada indivíduo, fazendo com que um ambiente possa ser mais confortável enquanto quente para um, ou frio para outro.

De uma maneira geral, diz-se que uma pessoa se encontra em estado de conforto térmico quando são atingidas as seguintes premissas (FROTA e SCHIFFER, 2005): a pessoa se encontre em neutralidade térmica, e para isto, todo o calor gerado pelo seu corpo deve ser dissipado nesta mesma proporção ao ambiente, através de trocas térmicas (condução, radiação e evaporação); a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor devem estar dentro de limites compatíveis com a atividade desenvolvida; a pessoa deve estar livre de qualquer desconforto térmico localizado, advindos de correntes de ar, diferenças nas temperaturas do ar no sentido vertical, ou pisos aquecidos ou resfriados.

Muitos são os fatores que interferem nas determinações das sensações térmicas e, de acordo com De Dear e Brager (2002), descobrir qual deles ocasiona maior influência na sensação de conforto térmico individual é o ponto que mais gera perguntas relacionadas ao tema. Com a finalidade de precisar estes fatores intervenientes e determinar a real influência de cada um deles no desempenho, sensação e preferência térmica, pesquisas em todo o mundo estão sendo desenvolvidas, dentre elas estão as de Fanger (1970; 2001), De Dear *et al.* (1997), Humphreys e Nicol (1998), Zhang *et al.*, (2001).

A partir de estudos consequentes à Equação de Conforto Térmico, desenvolvida por Fanger, criou-se um método de avaliação do grau de desconforto, chamado Predicted Mean Vote – PMV ou o voto médio estimado – VME, que também é conhecido como sensação analítica de conforto, e se baseia no balanço de calor do corpo com o ambiente. O PMV representa as sensações térmicas médias das pessoas sob determinadas condições ambientais e individuais, através de uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio (GOMES, 2002).

No entanto, o uso do voto médio estimado (PMV) como um modelo universal, é discutível. De acordo com Fanger e Toftum (2001) a conclusão de que “o PMV superestima a sensação térmica das pessoas acostumadas aos climas quentes em edificações sem condicionamento artificial”, tem a influência do fator expectativa, que permite ao usuário ter maior ou menor tolerância ao ambiente térmico.

No Brasil não existem normas específicas que dispõem de métodos para avaliação da sensação térmica das pessoas. Na prática, adotam-se intervalos de conforto para homens europeus e norte-americanos (com biótipo e metabolismo diferentes do brasileiro) estabelecidos em climas temperados. Dentre as normas encontradas na ABNT, se destaca para fins de conforto a NBR 6401/89 – Instalações centrais de ar condicionado para conforto térmico. Nesta norma, são especificados intervalos de temperatura dos ambientes e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividades sedentárias.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o conforto térmico nas salas de aula da Universidade Estadual de Maringá – PR, as quais possuem aberturas voltadas em diferentes orientações cardeais e confrontar os resultados obtidos experimentalmente com a opinião dos usuários.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em quatro etapas principais:

1. Escolha das salas de aula analisadas, levando em consideração a orientação das aberturas;
2. Medições *in loco* da temperatura e umidade do ar e velocidade do vento interna e externa e temperatura radiante;
3. Obtenção das variáveis subjetivas através da aplicação de questionários aos usuários.
4. Definição de um modelo computacional representativo para a edificação monitorada, utilizando o programa Conforto versão 2.0.2.

3.1. Escolha dos blocos analisados

Maringá é uma cidade localizada no norte do Estado do Paraná. Possui clima subtropical com umidade relativa em torno de 70% e temperaturas anuais médias superiores a 20°C. Sua latitude é de aproximadamente 23° 25' S, onde passa o Trópico de Capricórnio.

Nessa cidade se encontra o *campus* sede da Universidade Estadual de Maringá (UEM), a qual teve algumas de suas salas analisadas em relação ao conforto térmico. As construções da UEM apresentam fachadas dispostas em forma de flor, devido a isso, estão voltadas para direções distintas (Figura 1).



Figura 1 – Foto de satélite da UEM e detalhe dos blocos C67 e D67.

Levando em consideração que não foi possível escolher um bloco de cada disposição para análise, devido ao fato de que os que ficam com fachadas voltadas para o leste e oeste possuem características distintas comparadas aos demais, foram escolhidos dois blocos com características semelhantes: o C67 (fachadas nordeste e sudoeste) e o D67 (fachadas noroeste e sudeste). Em cada bloco foram escolhidas duas salas, uma em cada fachada.

3.1.1. Bloco C67

Este bloco é composto por térreo mais dois pavimentos, onde as salas de aula se concentram no primeiro piso. Feito de alvenaria cerâmica com revestimento em reboco e esquadrias do tipo basculante, possui pintura em sua maior parte na cor branca, além de possuir piso feito de granilite e ser totalmente contornado por *brises solei* no primeiro e segundo pavimento.

Quanto ao entorno do bloco, próximo à fachada sudoeste existem várias árvores de grande porte (Figura 2), porém, há uma distância considerável entre essas e as janelas das salas de aula. Em relação à fachada nordeste, existem apenas algumas palmeiras e outras árvores de menor porte próximas às janelas (Figura 3). Além disso, as aberturas nas duas fachadas possuem elementos de proteção solar.



Figura 2 – Fachada sudoeste do bloco C67.



Figura 3 – Fachada nordeste do bloco C67.

As salas escolhidas para a análise nesse bloco foram as 103 (fachada nordeste) e 104 (fachada sudoeste). Ambas possuem características semelhantes quanto ao tamanho e aos materiais presentes em seus interiores, com janelas de altura de 1,80m, largura de 2,30m e peitoril de 1m. Além disso, as duas salas possuem carteiras de madeira em fórmica de cor clara, com pés de aço redondo com aproximadamente 70cm de altura, com cadeiras também feitas de madeira com pés e encosto de aço (Figura 4). Nas janelas encontram-se cortinas de cor azul escura, com comprimento suficiente para cobrir todas as aberturas.



Figura 4 – Interior da sala 104.

3.1.2. Bloco D67

Embora também seja composto por térreo e dois pavimentos, esse bloco é diferente do C67 por ser destinado somente a salas de aula, onde essas estão dispostas tanto no térreo, quanto no primeiro e segundo pavimentos. O D67 é construído com alvenaria cerâmica, com blocos visíveis até a altura do peitoril e revestimento em reboco acima dele. Além disso, possui piso cerâmico e janelas do tipo basculante cobrindo quase toda a extensão da parede.

O entorno da fachada sudeste é composto por várias árvores de médio e grande porte (Figura 5), porém, devido à presença de uma calçada para a circulação de pessoas, essas se situam a uma distância considerável da janela. Na fachada noroeste não há árvores de tal porte que possam provocar sombra (Figura 6) e, conseqüentemente, alterar de forma relevante os resultados finais das medidas. É importante destacar que as aberturas nessas fachadas não dispõem de proteção solar.

As salas escolhidas para realizar os estudos foram as 109 (fachada sudeste) e 110 (fachada noroeste). Ambas possuem janelas de altura 1,75m, largura de 9,8m e peitoril de 1,05m. Assim como no C67, as duas salas têm características semelhantes tanto no aspecto da dimensão, quanto nos materiais em seus interiores.



Figura 5 – Fachada sudeste do bloco D67.



Figura 6 – Fachada noroeste do bloco D67.

3.2. Coleta dos dados – variáveis físicas

Os dias determinados para a realização da coleta de dados de verão foram os dias 9, 10, 16 e 17 de março. Já para os dados de inverno, os dias pré-estabelecidos foram os dias 29 e 30 de junho e 1 e 3 de julho. Para realizar as medições, os equipamentos foram colocados sobre uma carteira que se encontrava na posição central da sala, na altura do usuário. (Figuras 7 e 8).

As medições no aparelho TESTO 177-H1 (Figura 7) aconteceram das 7h às 12h30min e depois das 12h45min às 18h. O aparelho TESTO 405-V (Figura 8) foi utilizado para medir a velocidade do ar, com auxílio de uma rosa dos ventos, para garantir leituras nas direções norte, sul, sudeste, sudoeste, noroeste, nordeste, oeste e leste a cada 10 minutos das 7h às 18h.



Figura 7 – Aparelho TESTO 177-H1.



Figura 8 – Aparelho TESTO 405-V e suporte.

3.3. Variáveis subjetivas

Para realizar a estimativa das variáveis pessoais, os usuários das salas de aula pré-estabelecidas responderam a questionários. O questionário era constituído de questões de múltipla escolha relacionadas ao tipo de vestimenta usada durante a aplicação do questionário; às sensações térmicas; velocidade de ar e também quanto à localização do entrevistado na sala de aula, onde o mesmo tinha que marcar a sua localização numa planta apresentada. Essas questões foram elaboradas levando em consideração as opções apresentadas pelo programa computacional Conforto 2.0.2. Os questionários foram aplicados durante a estação do verão (141 usuários entrevistados) e do inverno (137 usuários entrevistados), no dia seguinte a realização das medições físicas nas salas. A aplicação ocorreu durante o período da manhã e da tarde, onde a pesquisa foi sincronizada com o horário das medições do dia anterior, e contemplando o horário de utilização da sala.

3.4. Definição de um modelo computacional

Para complementar a análise do conforto térmico, utilizou-se o programa computacional Conforto 2.0.2 de Ruas (2002). O *software* foi desenvolvido com base nas normas ISO 7730(1994), ISO 8996 (1990), ISO 9920 (1995), ISO 7726 (1998) e ASHRAE 41.6 (1994) e possibilita a avaliação do conforto térmico nos ambientes edificados a partir dos principais fatores intervenientes na sensação térmica das pessoas, como a taxa de metabolismo, isolamento térmico da roupa, temperatura radiante média, temperatura, umidade relativa e velocidade relativa do ar.

Além disso, também é possível simular a interferência nos ambientes, colaborando no processo de tomada de decisão para a melhoria da sensação térmica, principalmente nos locais de trabalho. O programa também pode ser utilizado como ferramenta para estimativa “instantânea” da sensação térmica em pesquisas brasileiras sobre conforto térmico.

Os valores das variáveis físicas medidas em campo e das variáveis subjetivas estimadas foram introduzidos no *software* para obter as sensações térmicas teóricas dos indivíduos avaliados, sendo que estes resultados foram confrontados com os obtidos anteriormente com a aplicação dos questionários.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Considerações

Os dados coletados *in loco* são representados em forma gráfica com a finalidade de facilitar a visualização e entendimento do leitor quanto às condições climáticas do objeto de estudo, visto que a quantidade de dados coletados é grande, pois possuem intervalo de medida de 2 segundos.

4.2. Medições de verão

Praticamente durante todo o período de medições, as temperaturas nas salas de aula se mantiveram acima da temperatura externa (Figura 9), sendo que durante o período da manhã foi possível observar um limite de conforto aceitável para todas as salas. Esse é o limite estabelecido pela ASHRAE 55 (2010), que considera o ambiente termicamente confortável e aceitável quando no mínimo 80% das pessoas expressam satisfação com o ambiente analisado (PPD), o que ocorre no período da tarde para as salas 103, 109 e 110, onde o índice de satisfação é muito elevado. Isso foi refletido no PMV (Figura 10) e PPD calculados, pois observa uma faixa em que $-0,5 < PMV < +0,5$, onde a porcentagem de insatisfação é menos que 20%, exceto para a sala 110 do D67, onde esse índice é ultrapassado.

Ao avaliar a umidade relativa do ar (Figura 11), é possível observar que a umidade externa é menor que a interna em todas as salas durante quase todo o período diurno, sendo que a umidade externa é maior apenas no período da manhã até no máximo às 11h.

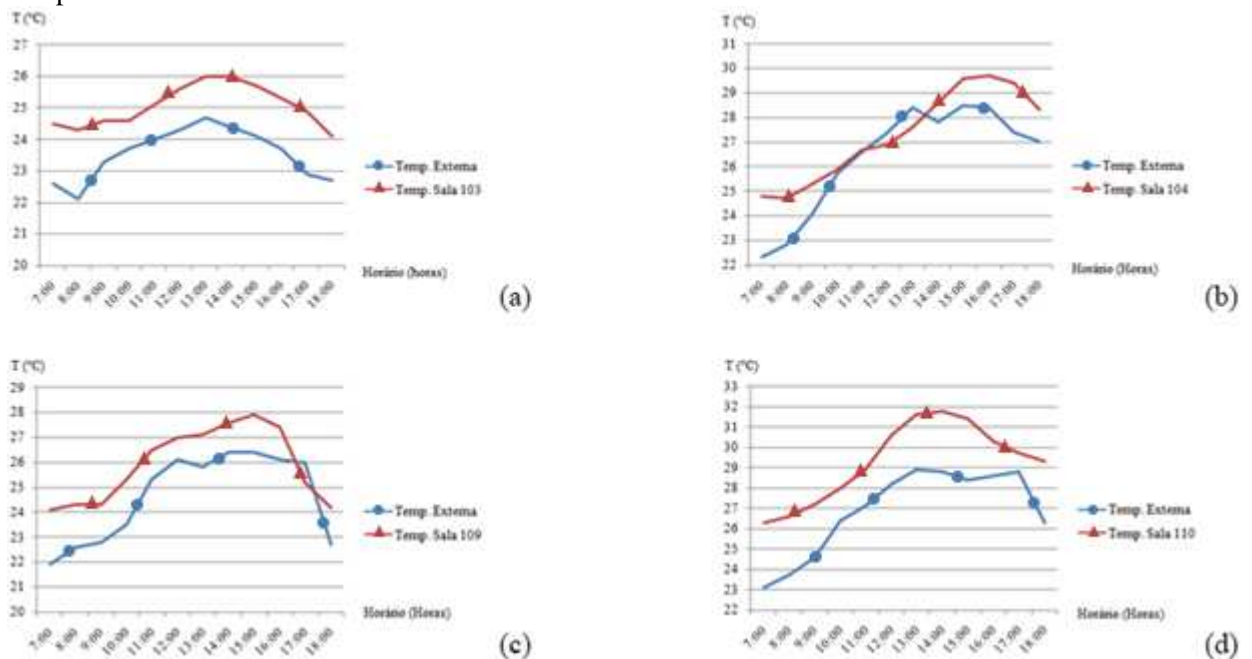


Figura 9 – (a) temperatura do ar na sala 103; (b) temperatura do ar na sala 104; (c) temperatura do ar na sala 109; (d) temperatura do ar na sala 110.

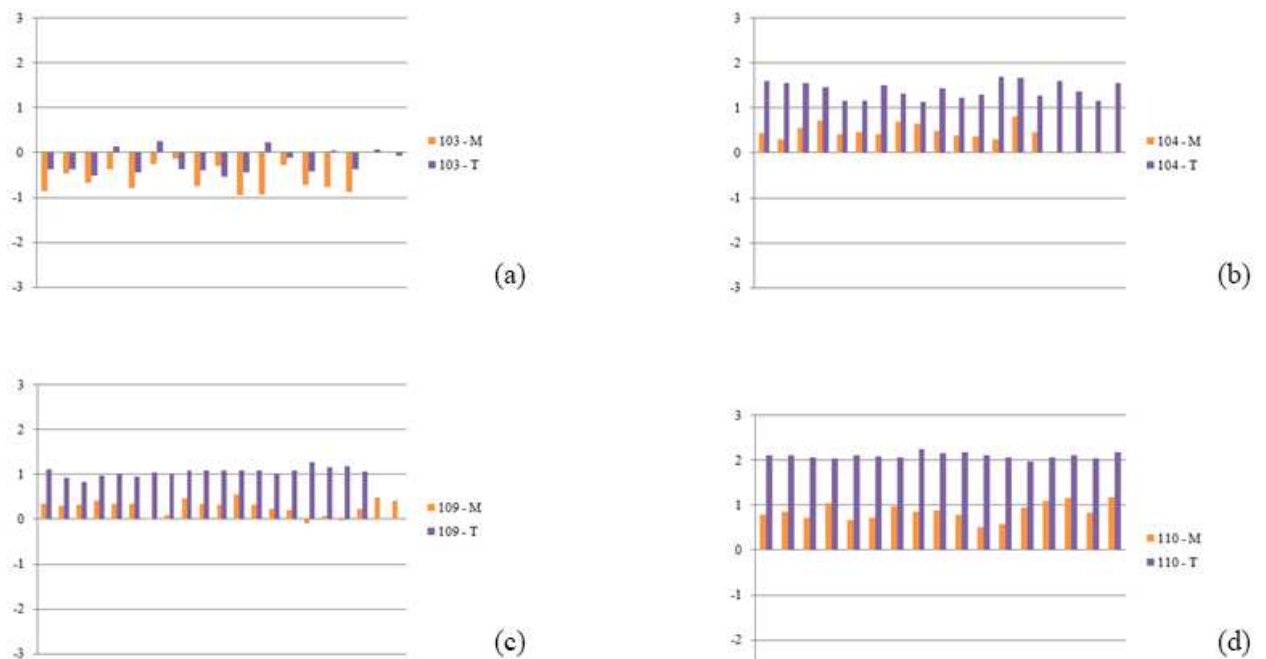


Figura 10 – (a) gráfico PMV da sala 103; (b) gráfico PMV da sala 104; (c) gráfico PMV da sala 109; (d) gráfico PMV da sala 110.

Em relação aos questionários aplicados, pode-se observar que durante o período da manhã as salas de aula são consideradas aceitáveis pelos usuários, não ocasionando nenhum tipo de desconforto para a maioria deles, exceto pela sala 110 do bloco D67, onde até mesmo no período da manhã há uma grande sensação de desconforto manifestado pelos usuários devido às altas temperaturas, gerando calor. Durante a tarde o desconforto permanece.

Além disso, também foi possível observar a opinião dos usuários em relação à velocidade do ar. Para a sala 103, aproximadamente 52% dos usuários se consideram satisfeitos no período da manhã. Esse valor

eleva-se para 70% durante o período da tarde. Na sala 104 percebe-se que de manhã cerca de 75% dos alunos consideram a velocidade do ar do local como suficientemente aceitável, enquanto que durante a tarde esse valor cai para 41%. No período matutino na sala 109 o que mais se destaca é que mais da metade dos entrevistados considera a sala aceitável, mas com pouca ventilação. No período vespertino, a opinião se divide basicamente em aceitável e inaceitável. Na sala 110 aproximadamente 75% dos usuários se consideram satisfeitos durante a manhã, mas esse valor reduz significativamente durante a tarde.

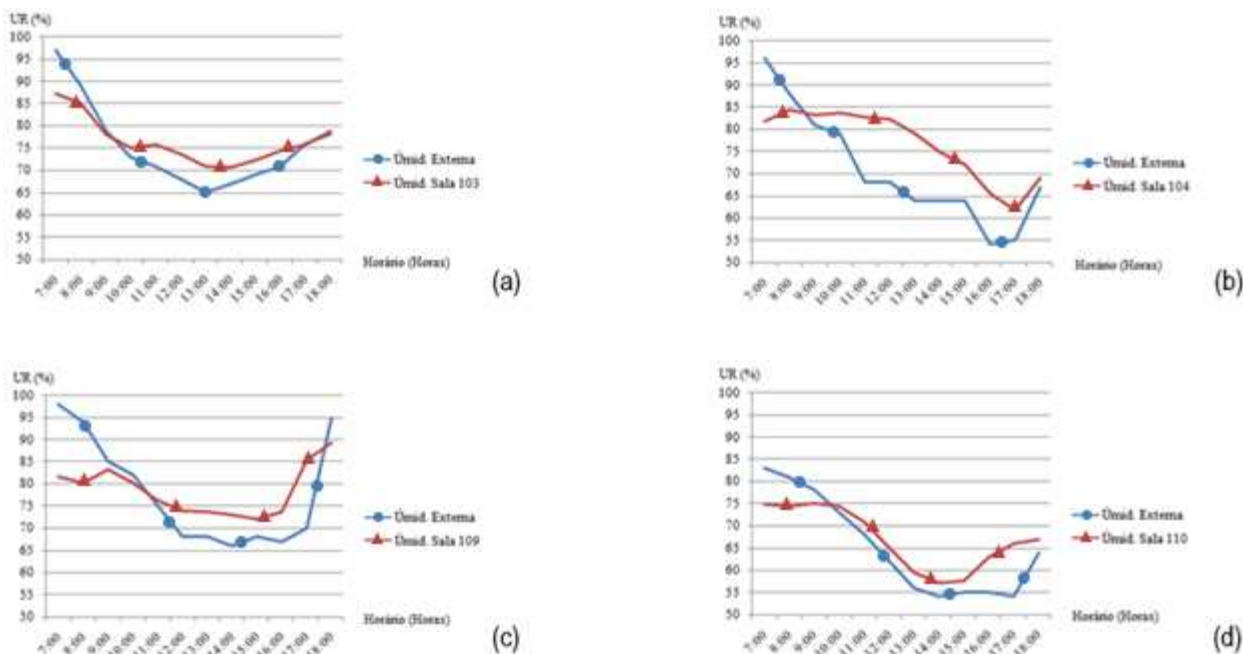


Figura 11 – (a) umidade relativa do ar na sala 103; (b) umidade relativa do ar na sala 104; (c) umidade relativa do ar na sala 109; (d) umidade relativa do ar na sala 110.

4.3. Medições de inverno

As temperaturas das salas de aula (Figura 12) se mantiveram acima da temperatura externa durante praticamente todo o período de medições. A exceção é somente para a sala 109, onde no período da tarde a temperatura externa foi maior que a interna. Também foi possível observar um limite de conforto aceitável para todas as salas, tanto de manhã quanto à tarde, onde no mínimo 80% das pessoas expressaram satisfação com o ambiente analisado (PPD). Isso foi avaliado no PMV (Figura 13) e PPD calculados, que é possível observar uma faixa aproximada em que $-0,5 < PMV < +0,5$, cuja porcentagem de insatisfação, assim como no período de verão, é inferior a 20%.

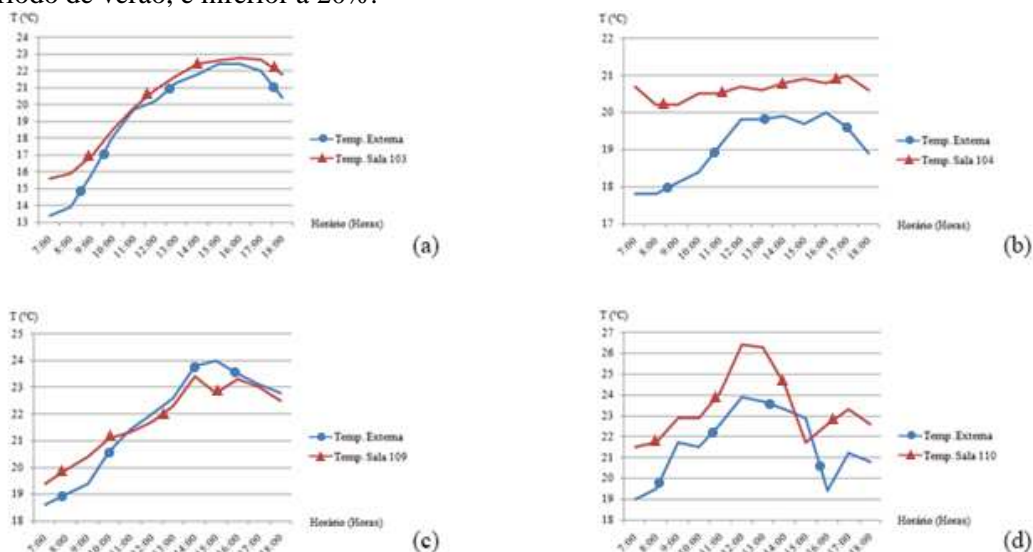


Figura 12 – (a) temperatura do ar da sala 103; (b) temperatura do ar a sala 104; (c) temperatura do ar da sala 109; (d) temperatura do ar da sala 110.

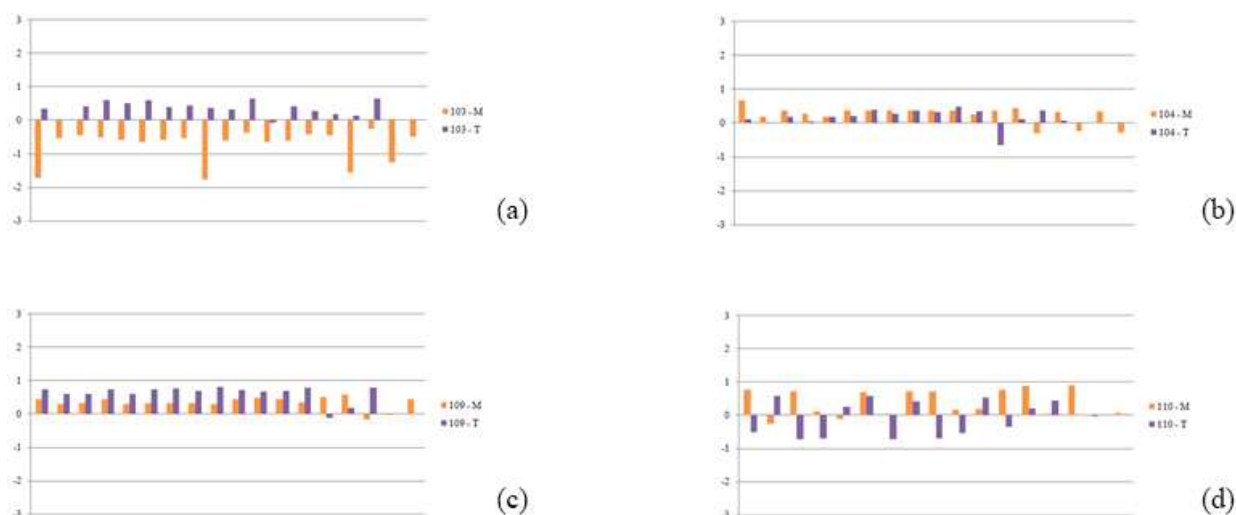


Figura 13 – (a) gráfico PMV da sala 103; (b) gráfico PMV da sala 104; (c) gráfico PMV da sala 109; (d) gráfico PMV da sala 110.

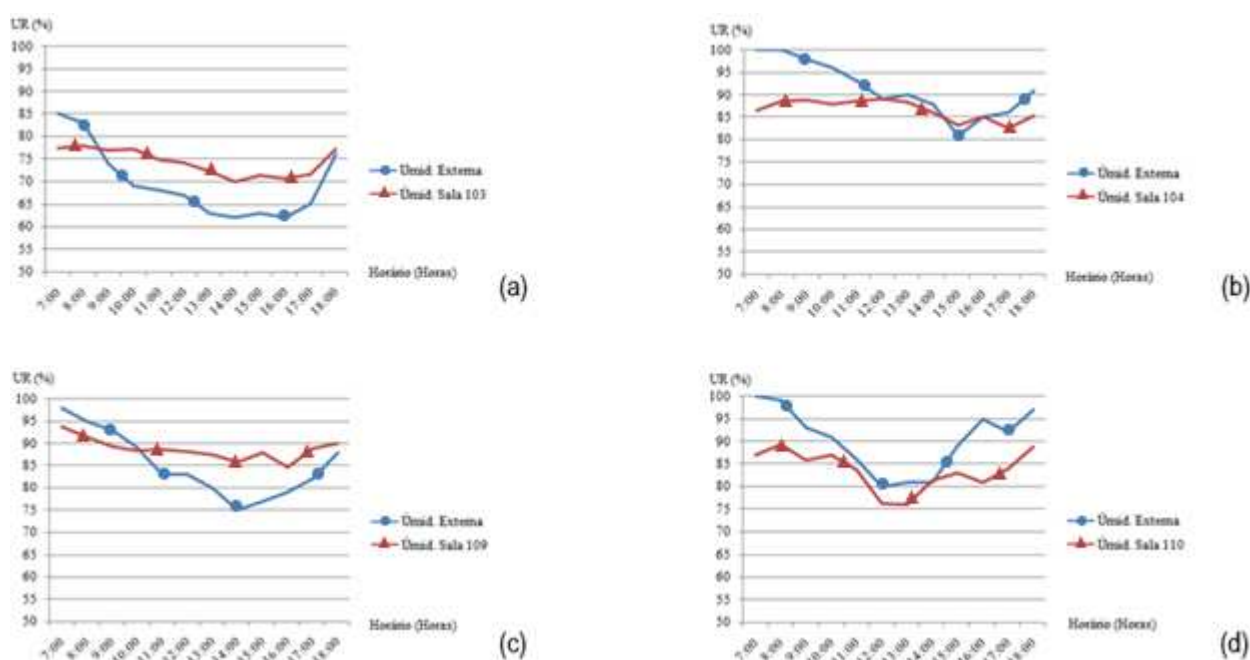


Figura 14 – (a) umidade relativa do ar na sala 103; (b) umidade relativa do ar na sala 104; (c) umidade relativa do ar na sala 109; (d) umidade relativa do ar na sala 110.

Durante a avaliação da umidade relativa do ar (Figura 14), pode-se verificar que para as salas 103 e 109 a umidade externa foi menor durante quase todo o período de medições, enquanto que para as salas 104 e 110 a umidade externa foi superior à interna em quase todo o período diurno.

Avaliando-se as respostas obtidas através dos questionários aplicados, foi possível constatar que as salas são consideradas levemente frias pela maior parte dos usuários. Ressalta-se ainda que durante o período da manhã na sala 103, mais de 55% dos usuários afirmam estar com frio, enquanto que para a sala 110, tanto para a manhã como para a tarde, há certa igualdade entre a neutralidade e a baixa sensação de frio.

A respeito da velocidade do ar, cerca de 80% dos entrevistados disseram satisfeitos com as salas 103 e 110, tanto no período da manhã como no período da tarde. Já nas salas 109 e 110, a maioria dos alunos considerou a velocidade do ar como inaceitável devido à baixa ventilação.

5. CONCLUSÕES

Através da análise das variáveis físicas em conjunto com as variáveis subjetivas, foi possível concluir que durante os dias de verão, no período da manhã, as salas 103 e 104 do bloco C67 e 109 do bloco D67 atendem aos padrões estabelecidos pela norma. Porém, durante o período da tarde todas as salas se encontram em situação de desconforto. Durante o inverno, as sensações térmicas destacadas indicam que há desconforto pelos estudantes em todas as salas, tanto de manhã quanto à tarde.

Levando em consideração que o trabalho foi realizado em ambientes reais, onde as variáveis físicas e subjetivas, assim como a interpretação da escala de sensações por parte dos indivíduos questionados, são fatores de difícil controle, a origem das divergências encontradas na comparação entre a sensação térmica e o PMV pode ser devido ao fato de que os valores médios estimados variam numa escala de -3 a +3, com precisão centesimal, enquanto que a escala de questionamento tem variação unitária. Além disso, não se pode esperar uniformidade dos entrevistados em relação à sensação térmica local, porque parte desses entrevistados só tiveram contato com a sensação térmica local durante o período de avaliação.

De uma maneira geral, houve uma concordância média quando comparado o PMV e a sensação térmica indicada pelos indivíduos avaliados por meio da aplicação de questionários. Assim, tanto as variáveis subjetivas como as variáveis físicas indicaram que são necessárias medidas para a adequação térmica das salas, seja com a implementação de ventiladores, condicionadores de ar, ou aplicação de proteção solar, ressaltando a importância do aumento das oportunidades adaptativas aos usuários em relação à sensação térmica em climas quentes e frios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ASHRAE Standard 55 - 1992. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, Inc. Atlanta, USA, 1992.
- ANSI/ASHRAE Standard 55 - 2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, Inc. Atlanta, USA, 2004.
- DE DEAR, R. J., BRAGER, G. Thermal comfort in naturally ventilated buildings revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v.34, p. 549-561, 2002.
- DE DEAR, R., BRAGER, G., COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report on ASHRAE RP 884**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort analysis and application in environment engineering**. New York. McGraw-Hill, 1970.
- FANGER, P. O., TOFTUM, J. **Thermal comfort in future – Excellence and expectations**. In: Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century, 2001, Windsor, UK. Proceedings. Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.
- FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7ª. Edição, Ed. Nobel, São Paulo, 2005.
- GOMES, C. H. G. **Análise em curto período de tempo das condições de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 127p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 2002.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra, 1994.
- NICOL, F., HUMPHREYS, M. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34. P. 563-572. 2002.
- RUAS, A. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 2002.
- XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis – SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1999.