



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE FACHADA LESTE ENVIDRAÇADA: ESTUDO DE CASO

**Sardeiro, Paula S. (1); Pezzuto, Claudia C. (2);
Labaki, Lucila C. (3); Roriz, Maurício (4)**

- (1) Doutoranda da FEC / UNICAMP, e-mail: sardeiro@sc.usp.br;
(2) Doutoranda da FEC / UNICAMP, e-mail: cpezzuto@fec.unicamp.br;
(3) Profa. Dra. da FEC / UNICAMP, e-mail: lucila@fec.unicamp.br;
(4) Prof. Dr. da UFSCar, e-mail: m.roriz@zaz.com.br

RESUMO

Este trabalho trata de uma avaliação do desempenho térmico de uma edificação com fachada leste envidraçada, com proteção horizontal, localizada na cidade de São Carlos – SP. Por meio de uma mini-estação meteorológica instalada no ambiente analisado, registraram-se os dados da velocidade do vento, das temperaturas de bulbo seco e úmido e da temperatura radiante. Foram utilizados dois registradores de temperatura e umidade do ar, da marca HOBO H8 (um no ambiente interno e outro no externo). Simulações no programa Arqitrop 3 forneceram subsídios adicionais para as análises. O Voto Médio Estimado foi determinado com o software a partir dos resultados das medições. Constatou-se a influencia da superfície envidraçada na temperatura interna do ambiente, contribuindo para o ganho de calor, mantendo assim, a temperatura interna, na maior parte do tempo, mais elevada que a externa, porém, em geral, valores próximos e até citados nas conhecidas zonas de conforto. Ficou comprovado, através da opinião dos usuários, que apesar do ganho de calor, devido à superfície transparente, a temperatura interna não atingiu valores indesejáveis, sendo o ambiente considerado confortável.

ABSTRACT

This paper presents a study about the thermal performance of a building with glass and horizontal protection in the east facade, located in the city of São Carlos. Using a small meteorological station, it was recorded data about wind speed, dry and humid bulb and radiant temperatures. Air temperature and humidity were measured through, a recorder 1 HOBO mode H8, one in the internal and other in the external environment. Simulations with the Arqitrop 3 software supplied additional subsidies for the analyses. The Predicted Mean Vote was established from questionnaires applied to the users. It was verified the influence of the glass surface in the indoor temperature which was most of the time higher than the external on contributing to the heat gain, In general, however, values were close to those mentioned in the comfort areas. It was demonstrated through the users` opinion, that even with heat gain, due to the transparent surface, the indoor temperature did not reach undesirable values, being the environment considered comfortable.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente de estudo constitui um apartamento situado no 1º andar, com fachada leste em vidro simples de 4mm de espessura e com uma proteção horizontal. Localizado na cidade de São Carlos-SP, a 22° 05' de latitude sul e 47° 56' de longitude oeste, com altitude média de 856 metros.

1.1 Caracterização Climática da Região de São Carlos

A região de São Carlos apresenta condições específicas de clima devido estar implantada entre uma depressão periférica e o início do planalto central. Utilizando a classificação de KOPPEN, esta região está enquadrada em um clima temperado, inverno seco e chuvas mais expressivas no verão. Segundo TOLENTINO (1967), São Carlos apresenta um verão úmido, com altas taxas de precipitação e umidade relativa em torno de 75% e um inverno seco, com umidade de 56,2%.

De acordo com o Atlas climatológico de São Paulo, os meses de janeiro, fevereiro e março apresentam índices de temperatura média mais elevada durante o ano, correspondendo ao verão, com temperatura máxima em torno de 32°C e mínima de 14°C. Os meses de outubro, fevereiro e março são considerados com temperatura média das máximas mais elevadas. E os meses de junho e julho são os mais frios do ano, com temperatura máxima de 29°C e mínima de 7°C.

Os ventos dominantes na região são os de direção nordeste (com 30%) e de sudeste (com 20%). Eles são alíseos trazidos pela massa equatorial atlântica e pela massa tropical atlântica. A velocidade não varia muito, mas sendo os de nordeste mais freqüentes e os de sudeste, mais intensos.

O zoneamento bioclimático brasileiro, de acordo com o PROJETO DE NORMALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL (1997), compreende oito zonas diferentes. O objeto de estudo (a cidade de São Carlos) está inserido na zona bioclimática 4, que possui as seguintes diretrizes de projeto:

- Zona bioclimática 4:

- Aberturas para ventilação: Médias: $15 < A < 25$;
- Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para vedações externas, podem ser visualizadas através da tabela 01;
- Estratégias de condicionamento térmico passivo de acordo com a tabela 02.

Tabela 01 – Fatores de avaliação

| Vedações externas | Transmitância térmica (U, em $W/m^2 \cdot K$) | Atraso térmico (ϕ , em horas) | Fator de calor solar (FCS, em %) |
|-------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Parede: pesada | $U < 2,20$ | $\phi > 6,5$ | $FCS < 3,5$ |
| Cobertura: leve isolada | $U > 2,00$ | $\phi < 3,3$ | $FCS < 6,5$ |

Fonte: PROJETO DE NORMALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL (1997)

Tabela 02 – Estratégias de condicionamento térmico passivo

| Estação | Estratégias de condicionamento térmico passivo |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Verão | - resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento; - ventilação seletiva. |
| Inverno | - aquecimento solar da edificação; - vedações internas pesadas |

Fonte: PROJETO DE NORMALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL (1997)

1.2 Ambiente de Estudo

O apartamento analisado está situado a 2Km do centro da cidade, em edifício constituído de 10 pavimentos, com 4 apartamentos por pavimento. Quanto à sua implantação, este não apresenta recuo frontal, porém tem-se 4m de recuos laterais e 25m de recuo posterior.

A edificação apresenta as maiores aberturas nas fachadas voltadas para duas orientações: leste e oeste, porém existem aberturas menores voltadas para sul e norte. O apartamento analisado tem aberturas voltadas para leste e sul. O material de revestimento externo do edifício foi o graffiato nas cores: bege e verde. Todos os caixilhos são em alumínio anodizado preto, sendo os vidros simples e com 4 mm de espessura.

1.2.1 Ambiente Interno

Os apartamentos apresentam um único tipo de planta baixa (Figura 01), com área útil de 72m². Seu programa consta de 3 dormitórios, 2 banheiros, sala para dois ambientes, cozinha, área de serviço e sacada. O acesso ao apartamento está localizado na sala de jantar, onde foram realizadas as medições. A figura 01 mostra a disposição e dimensão do lay-out do ambiente analisado, com a posição dos equipamentos de medição, os registradores de temperatura e umidade (HOBO¹) e a mini-estação meteorológica (um termohigroanemômetro para medição da umidade relativa do ar e temperatura de globo, um termo – anemômetro digital para medição da velocidade do ar e temperatura do ar).

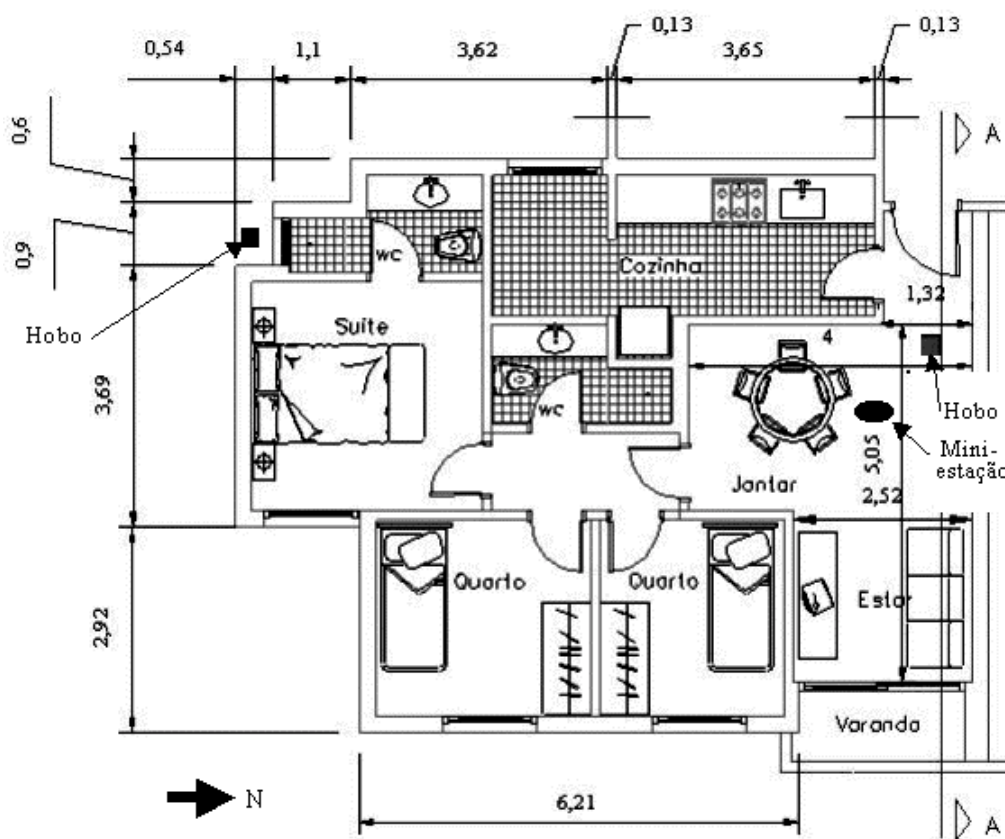


Figura 01 – Planta baixa do ambiente analisado com a indicação da localização dos equipamentos de medições.

¹ HOBO é um registrador de temperatura e umidade.

Foram dispostos para as medições dois registradores de temperatura e umidade do ar (HOBO), um no ambiente interno, na sala, constituída com porta de correr em duas folhas com vidro simples de 4mm de espessura, voltada para leste; e outro no ambiente externo, protegida da radiação solar direta.

O ambiente interno analisado constitui-se de: sala de estar e sala de jantar; o ambiente é utilizado por quatro pessoas e as principais atividades desenvolvidas são: reunião familiar, descanso, refeições e atividades diversas (som, tv); o local é utilizado por aproximadamente cinco, seis horas por dia, com maior frequência durante o período das 12 às 14 horas e 19 às 22 horas. É importante salientar que o ambiente representa um local de passagem.

1.2.2 Ambiente Externo

A edificação localiza-se em uma região de baixa densidade demográfica, com várias áreas de vazios urbanos, em zona de fundo de vale. (Figura 02)



Figura 02 – Vista aérea da região, destacando a edificação analisada

1.2.2 Descrição dos Materiais

Na tabela 03 são apresentados os materiais e o sistema construtivo do apartamento analisado.

Tabela 03 – Relação dos materiais e elementos construtivos

| Elemento Construtivo | Materiais | Espessura |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|
| Parede | Argamassa interna | 3cm |
| | Argamassa externa | 3cm |
| | Tijolo (6 furos) | 9cm |
| Caixilho | Vidro simples | 4mm |
| | Esquadria | 13cm |
| Laje / piso Armada em uma direção | --- | 15cm |

2. OBJETIVO

Tem como objetivo geral avaliar o desempenho térmico de um ambiente com fachada envidraçada e orientada para leste, com proteção horizontal. O objetivo específico foi o de confrontar os valores

obtidos nas medições, referentes à temperatura do ar, umidade, temperatura radiante, velocidade do vento com a opinião do usuário por meio do Voto Médio Estimado - VME.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização das medições, foram utilizados dois registradores de temperatura e umidade (Hobo H8, fabricados pela Onset), que medem temperaturas e umidades do ar e armazenam os dados em memória, de onde são posteriormente lidos por computador.

As medições foram programadas para serem realizadas a cada 15 minutos, durante o período compreendido de 00:00h do dia 13/09/2003 a 00:00h do dia 18/09/2003. Foram realizadas duas medições simultâneas: uma na área interna do apartamento e outra no exterior. O equipamento interno foi locado na sala a uma altura de 1.90m do piso, e o externo situou-se a 4m do piso, este último sobre a fachada sul e protegido contra chuva e radiação solar. (Figura 01)

No ambiente interno foi também instalada uma mini-estação meteorológica (um termohigroanemômetro, um termo – anemômetro digital), e as variáveis físicas medidas foram: velocidade do vento; temperaturas de bulbo seco e úmido; e a temperatura radiante. Os instrumentos permaneceram na sala durante 24 horas, e as medidas foram coletadas a cada 2 horas. Neste mesmo período, também a cada 2 horas, era aplicado um questionário com os usuários, para verificar a taxa de metabolismo, o isolamento térmico das vestimentas, o voto médio e a porcentagem de insatisfeitos.

A análise dos dados foi realizada por meio dos seguintes subsídios:

- dados obtidos através dos termômetros de bulbo seco, úmido e globo; dados obtidos através do anemômetro; dados obtidos via hobo (temperatura interna e externa, umidade interna e externa); distribuição do fluxo térmico (watt) no ambiente (Arquitrop);
- estimativa de variação horária das temperaturas (Arquitrop);
- recomendações para projeto arquitetônico (Planilhas de Mahoney);
- utilização do programa conforto - voto médio estimado (VME).

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Para facilitar a compreensão do trabalho, foram realizadas duas análises. A primeira, de caráter geral, relacionando temperatura interna e externa, umidade relativa interna e externa, o uso do ambiente analisado, o sistema construtivo, a orientação geográfica, o período em que há fluxo de ar e as recomendações de Mahoney. A outra análise, específica, selecionando um dia referencial para ser analisado mais detalhadamente, além dos parâmetros já citados, acrescentou a simulação desenvolvida no Architrop e a opinião dos usuários. Todos estes dados foram correlacionados, procurando-se uma relação de causa e efeito entre os mesmos.

4.1 Análise Geral

Conforme o comportamento das curvas relativas às médias de temperatura internas e externas dos dados coletados (período de 00:00h do dia 13/09/2003 a 00:00h do dia 18/09/2003), observam-se na figura 03 o predomínio de temperaturas mais elevadas no ambiente interno, exceto no período compreendido das 13:30 horas às 18:00 horas.

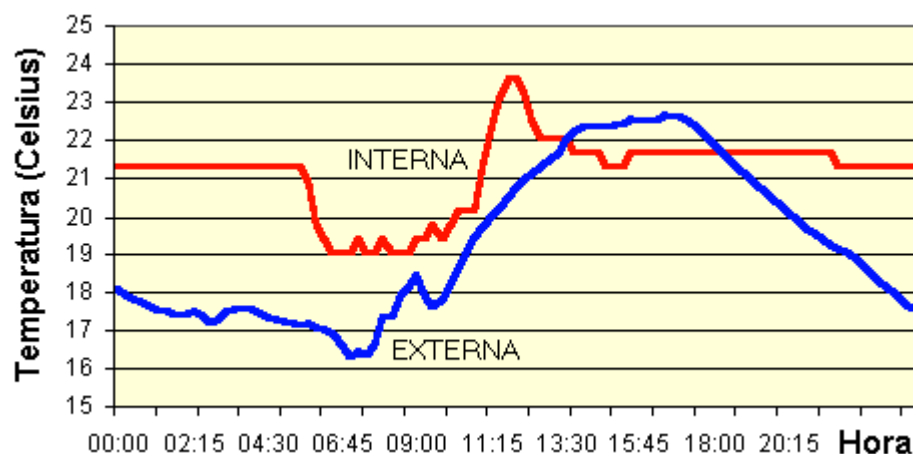


Figura 03 – Média de temperatura interna e externa em função do tempo

Nota-se também na figura 03 que a variação da média de temperatura mínima externa (das 0:00 as 6:00 horas) é pequena, de aproximadamente 1,5°C, conseqüentemente, o ambiente interno apresenta uma temperatura relativamente constante.

É importante salientar que a temperatura média máxima acontece antecipadamente no ambiente interno, por volta das 12:00 horas. Uma das razões para este fato é a incidência da radiação solar direta no período da manhã, em uma fachada envidraçada e orientada para leste, porém a incidência direta ocorre até as 10:50h, momento em que começa a atuar a proteção horizontal. CARAM DE ASSIS (2002) ressalta que, por se tratar de uma superfície transparente, existe a energia que é transmitida diretamente para o ambiente interno somada à parcela que é absorvida pelo vidro e posteriormente reenviada para o ambiente interno, variando esta última em função do fator solar de cada tipo de vidro.

Por volta das 12:30 horas ocorre uma sobreposição das curvas. Este acréscimo da temperatura interna pode ser atribuído ao horário de maior uso do ambiente em questão, onde se tem a presença dos usuários e a utilização de equipamentos geradores de calor, além da radiação de onda longa emitida pelas superfícies internas do ambiente, que receberam radiação solar direta no período das 7:00 às 10:50 horas.

No período da tarde, aproximadamente entre as 13:30 e 18:00 horas, ocorre a inversão dos valores, ou seja, a temperatura interna cai abaixo da externa, fato decorrente da orientação leste da fachada e conseqüente ausência da radiação solar direta durante à tarde. A opinião dos usuários obtida através dos questionários confirma este período de temperaturas mais amenas, gerando um ambiente mais confortável.

A partir das 18:00 horas verifica-se uma elevação da temperatura interna, estendendo-se até as 20:00 horas, quando atinge o pico e passa a decrescer de forma gradual. No período noturno, apesar da média de temperatura interna apresentar um declínio de cerca de 1°C, a mesma não acompanha a média da temperatura externa, que chega a diminuir em cerca de 5°C. Este fato pode ser atribuído a diversos fatores, entre os quais destacam-se a inércia térmica e a falta de ventilação, que restringe as trocas térmicas.

Ao analisar os dados coletados durante os cinco dias, nota-se que nos três primeiros a edificação ganhou calor principalmente do ambiente externo, em função da alta temperatura externa com relação à interna. Em contrapartida, nos últimos dois dias, a temperatura máxima interna é superior a externa, porém a temperatura máxima externa foi mais baixa que nos outros dias, ou seja, estes foram os dias mais frios. Assim, nestes dias houve uma perda de calor da edificação para o ambiente externo, sendo assim, invertido o sentido do fluxo de calor.

4.2 Análise Específica

O período escolhido para a análise mais detalhada foram as 24 horas do dia 17/09/2003. Constituiu-se um dia com céu parcialmente encoberto, com ausência de chuva, temperatura externa variando de 16°C, por volta das 7:00 horas da manhã, chegando a 22,5°C, por volta das 16:00 horas, resultando em uma amplitude térmica de aproximadamente 6,5°C. As temperaturas mínimas podem estar relacionadas com a proximidade de fundo de vale, onde normalmente ocorrem temperaturas mais baixas que as de outras zonas urbanas, porém estas se mantiveram dentro do intervalo das Normais Climatológicas da cidade para este período, entre 15°C e 26°C, conforme registro da base de dados do Arqutrop. Quanto à máxima de 22,5°C, nota-se que não atingiu valores elevados, o que se pode justificar também por se tratar de uma região de fundo de vale com grande massa de vegetação, baixa densidade ocupacional e a proximidade de um córrego. FONTES (1998) relata que “em regiões de fundo de vale as amplitudes são significantes, o que exige uma maior inércia térmica das construções próximas a estes locais, no sentido de obter um melhor desempenho térmico da edificação e conseqüentemente, melhor conforto do usuário”.

Quando aplicado aos dados climáticos da Estação Climatológica do Broa, nas proximidades de São Carlos, o método de Mahoney (RORIZ, 2001) recomenda paredes de alta inércia térmica, pois o clima daquela estação apresenta fortes amplitudes diárias das temperaturas do ar (15°C, conforme a figura 04). Considerando-se, porém, as condições observadas durante este trabalho, não haveria necessidade de paredes pesadas, pois a amplitude térmica foi de apenas 6,5°C.

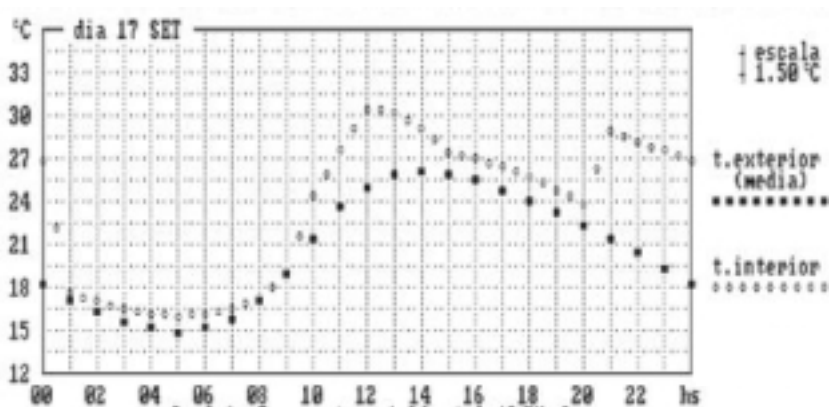


Figura 04 – Estimativa da variação horária das temperaturas (Fonte: Arqutrop)

A figura 04 indica que a curva da temperatura interna acompanha a curva da externa até as 20:00 horas. A partir deste momento a temperatura interna eleva-se, chegando a alcançar aproximadamente 27°C, por volta das 21:00 horas, fato provocado pelo atraso térmico, presença dos usuários, uso de equipamentos geradores de calor e iluminação elétrica, constituída por 2 lâmpadas incandescentes de 200W, cuja baixa eficiência transforma aproximadamente 80% da energia em calor.

Conforme os resultados do programa Arqutrop, a distribuição dos fluxos térmicos no ambiente (Figura 05) indica que, das 0:00 horas às 9:00 horas, acontece uma perda de calor, que ocorre em maior proporção pelo vidro. Esta perda é compreensível, pois se trata de um vidro simples de 4mm de espessura e que tem baixa resistência térmica.

Vale ressaltar que, mesmo acontecendo perda térmica, a temperatura interna é superior à externa, só por volta das 9:00 horas é que os valores das temperaturas interna e externa se aproximam. Esta diferença de temperatura interna e externa, prevalecendo a interna sempre superior à externa, pode ser justificado pela implantação da edificação, onde a maior fachada tem orientação leste. As Planilhas de

Mahoney recomendam que, em São Carlos, as maiores fachadas sejam voltadas para norte e sul, e ainda, que as aberturas sejam de tamanho médio, ocupando entre 25 e 40% das fachadas.

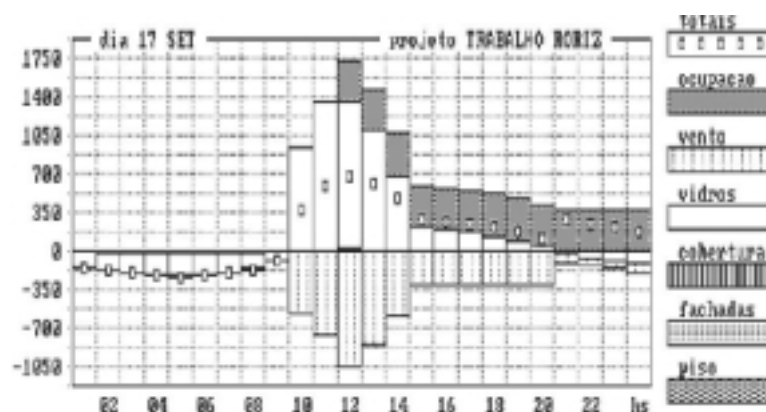


Figura 05 – Distribuição do fluxo térmico no ambiente (Fonte: Arquitrop)

O ápice da temperatura interna acontece por volta do meio dia, fato explicável pela incidência da radiação solar direta que ocorreu no período da manhã, e agora, acrescida da energia de onda longa (superiores a 2500nm) liberada pelas superfícies internas (paredes, estofado, tapete, estante, etc). Também não pode deixar de citar que neste horário tem-se a presença dos usuários no ambiente analisado, bem como a utilização de equipamentos geradores de calor, sendo esta influência comprovada também pelos dados registrados pelos Hobo, como já foi mencionado.

Neste dia, a cada 2 horas, no período das 6:00 às 20:00 horas, foi aplicado um questionário a cada usuário, totalizando 32 questionários, com questões sobre a vestimenta que usavam, se estavam sentindo frio ou calor e, caso não estivessem satisfeitos com a temperatura naquele momento, quais providências eles consideravam necessárias para restabelecer o conforto térmico. Através dos questionários foi possível determinar a sensação térmica do usuário (Tabela 04).

Tabela 04 – Sensação Térmica

| | 06h | 08h | 10h | 12h | 14h | 16h | 18h | 20h |
|------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Taxa de metabolismo (Met) | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Isolamento térmico das vestimentas (clo) | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 |
| Voto médio estimado | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1.22 | 1.34 | 1.04 | 0.47 | 0.49 | 0.66 | 0.59 | 0.71 |
| Porcentagem estimada de insatisfeitos | 36 | 42 | 27 | 9.5 | 10 | 14 | 12 | 15 |

5. CONCLUSÃO

Pelo estudo apresentado, pode ser constatado que, apesar das recomendações do Método de Mahoney indicarem diretrizes diferentes das adotadas na edificação analisada, de acordo com a opinião dos usuários o ambiente interno apresentou-se confortável, durante a maioria dos dias.

Os usuários somente relataram desconforto por frio, e estas sensações seriam previsíveis, considerando-se os limites de temperatura nas zonas de conforto definidas por Givoni (1981), Olgay (1973) e Gonzalez et al (1986), com valores compreendidos respectivamente entre 21°C a 26°C; 21°C a 27°C e 22°C a 29°C. Assim, no ambiente analisado, apenas as temperaturas mínimas apresentaram valores fora dos limites propostos por estes autores.

Por outro lado, verificou-se a forte influencia da superfície envidraçada na fachada voltada para leste, contribuindo para os ganhos de calor no ambiente interno, mantendo assim, a temperatura interna na maior parte do tempo mais elevada que a externa. Porém, em geral, valores próximos aos considerados confortáveis pela literatura especializada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARAM DE ASSIS, R.M. (2002). Estudo e Caracterização de Fachadas Transparentes para Uso na Arquitetura: Ênfase na Eficiência Energética. São Carlos. Texto de Livre-Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FONTES (1998) Efeito climático das áreas de fundo de vale no ambiente urbano: o caso de São Carlos – SP. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos EESC, Universidade de São Paulo USP.

GIVONI (1981) Man, climate and architecture. Londres, 2^oed., Applied Science Publishers, 483p.

GONZALEZ et al. (1986) Proyecto clima y Arquitectura. Universidad Del Zulia, Facultad de Arquitectura de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, Mexico: volume 1, Ediciones Gustavo Gili.

OLGYAY, V. (1973) Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. 4^oed. Princeton University, 190p.

PROJETO DE NORMALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL (1997). Texto 04: Térmica. UFSC / FINEP.

RORIZ, M. (2001) Racionalização de processos e produtos na construção de edifícios. Conforto térmico no ambiente. Apostila de Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, UFSCar, São Carlos, São Paulo.

TOLENTINO, M. (1967) Estudo Crítico Sobre o Clima da Região de São Carlos. São Carlos, s. ed. (Monografia).