

Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações

Disposal of the equipment for measurement of the air temperature in buildings

Miriam Jerônimo Barbosa
Giovana Cristina Buso Weiller
Roberto Lamberts

Resumo

Este artigo avalia a influência da posição dos equipamentos de medição de temperatura do ar no ambiente interno. A preocupação com a disposição dos equipamentos tem sido apontada por estudos de avaliação pós-ocupação, segundo os quais os usuários devem conviver com os equipamentos sem influenciar nos resultados. Foram realizadas medições da temperatura do ar em uma edificação em madeira e outra de alvenaria, dispondo-se os equipamentos de medição no centro do recinto e próximo às fachadas com insolação. Para cada disposição em planta, colocaram-se equipamentos de medição em três alturas; e, para cada uma das alturas, colocaram-se equipamentos protegidos e não protegidos da radiação, o que resultou em 18 pontos de medição por edificação. Analisaram-se os resultados visando a verificar a conformidade deles com as especificações de normas técnicas, que recomendam disposições e alturas: PNBR 02:136.01-001, ASHRAE 55 e ISO 7726. As análises apontaram concordância com as normas que indicam localização central e altura de 1,10 m do piso como sendo representativa de todo o ambiente. Os resultados também mostraram maior influência da disposição dos equipamentos na edificação em alvenaria.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Medição da temperatura do ar. Radiação. Inércia térmica.

Abstract

This paper analyses the influence of the position of the indoor air temperature sensors. The concern about the position of sensors has been pointed out by post-occupancy studies, in which the users must cohabit with the equipment without affecting the results. Measurements of air temperature in a building constructed in wood and another in masonry were performed, placing the sensor in the centre of the environment and next to sun-exposed surfaces. For each position in the room, sensors were placed in three heights; and, for each height, protected and not protected from thermal radiation, resulting in 18 points of measurement in each building. The results have been analyzed to verify the conformity of these with the specifications of technical standards that establish places and heights for these measurements: PNBR 02:136.01 - 001, ASHRAE 55 and ISO 7726. The results are in agreement with those standards, which indicate the centre of the room and height of 1.10m as being representative of the whole environment. The results also showed a greater influence of the measurement place in the building with masonry walls.

Keywords: Thermal performance. Measurement of air temperature. Radiation. Thermal inertia.

Miriam Jerônimo Barbosa
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Edificações e
Saneamento
Universidade Estadual de
Londrina
Campus Universitário, S/N
Caixa Postal 6001
Londrina - PR - Brasil
CEP 86051-990
Tel.: (43) 3371-4455
E-mail: mjb@uel.br

Giovana Cristina Buso Weiller
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Edificações e
Saneamento
Universidade Estadual de
Londrina
Campus Universitário, S/N
Caixa postal 6001
Londrina - PR - Brasil
CEP 86051-990
Tel.: (43) 3371-4455
E-mail:
giovana_bw@yahoo.com.br

Roberto Lamberts
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa
Catarina
Campus Universitário Trindade
Florianópolis - SC - Brasil
CEP 88040-970
Tel.: (48) 3331-5193
E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

Recebido em 25/01/07
Aceito em 28/08/07

Introdução

O posicionamento dos equipamentos de medição da temperatura do ar (t_{ar}) é especificado em várias normas técnicas, com grande aplicação nas áreas de estudo do desempenho e conforto térmico: PNBR 02:136.01-001 (ABNT, 2004), ASHRAE 55 (AMERICAN, 2004) e ISO 7726 (ISO, 1998). Entretanto, as recomendações das normas divergem em alguns pontos, o que dificulta a escolha mais adequada pelo pesquisador. Estudos realizados em edificações onde o usuário está presente (BATISTA, 2006; MENEZES, 2006) mostram a difícil tarefa de instalar os equipamentos em locais onde não atrapalhem o fluxo dos usuários, cuidando também da preservação do equipamento de leitura.

O Projeto de Norma 02:136.01.001:2004, de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, ainda em discussão pública, traz uma avaliação do desempenho térmico por meio de limites de t_{ar} interna em dias típicos de verão e de inverno. Esse projeto recomenda que as medições sejam feitas a 1,20 m do piso e no centro dos recintos.

A norma ASHRAE 55:2004, que trata das condições térmicas do ambiente para ocupação humana, traz como parâmetro de avaliação limites internos de t_{ar} , temperatura radiante média, velocidade do ar, etc. Para isso, recomenda, em seu item 7, que a localização dos medidores em planta deva ser no centro do recinto, no caso de somente uma medição, e a 1,00 m de cada parede interna, para duas ou mais medições. Quanto à altura, a norma remete às mesmas medidas especificadas pela ISO 7726:1998, diferenciando as atividades desenvolvidas em pé e sentado.

A norma ISO 7726:1998, que trata dos instrumentos e do procedimento de medição de valores físicos do ambiente térmico, aponta uma diferenciação entre ambientes homogêneos e heterogêneos, destacando que, para ambientes considerados homogêneos, a medição da t_{ar} pode ser representada por uma única leitura, dado que o ambiente apresenta uma homogeneidade de

temperaturas em todo o espaço. Recomenda, ainda, a altura de posicionamento do equipamento de acordo com a situação do usuário – sentado ou em pé –, especificando algumas medidas para cada parte do corpo que se deseja verificar (Tabela 1).

Considerando ambientes homogêneos, a medida a 1,10 m do piso é apontada pela norma como sendo representativa tanto do usuário que se mantém sentado como daquele em pé. Quanto à disposição em planta, a norma não traz nenhuma especificação, apenas recomendando que a leitura deva ser próxima à zona de permanência do usuário, evitando áreas superaquecidas ou frias (como próximo à cobertura e nos cantos de paredes).

Tanto o Projeto de Norma 02:136.01.001 quanto a norma ASHRAE 55:2004 remetem à norma ISO 7726:1998 para a instrumentação exigida na medição, como a especificação de sensores e medidores. Esta norma recomenda que nos equipamentos de medição sejam usadas proteções que reduzam os efeitos da radiação, devido a superfícies quentes ou frias, na leitura da temperatura do ar. Conforme apresentado na norma, a proteção mais indicada é a de tela metálica reflexiva entre o sensor e as superfícies radiantes, com o objetivo de refletir o calor irradiado por pessoas, equipamentos, paredes, etc., não deixando que esse calor influencie na leitura da t_{ar} . No caso do uso de equipamentos sem proteção contra radiação, a temperatura indicada pelo sensor é superior (ou inferior) à temperatura real do ar no recinto.

Revisão Bibliográfica

Na pesquisa bibliográfica realizada, procurou-se registrar trabalhos que envolveram medições de temperaturas internas em edificações entre os anos de 2001 e 2006. A pesquisa foi feita principalmente nos anais dos Encontros de Conforto no Ambiente Construído.

Localização dos sensores	Alturas recomendadas (m)	
	Usuário sentado	Usuário em pé
Nível da cabeça	1,10	1,70
Nível do abdômen	0,60	1,10
Nível do tornozelo	0,10	0,10

Tabela 1 - Alturas recomendadas para medições em ambientes (adaptado da ISO 7726:1998)

Verificou-se que vários trabalhos feitos com dados medidos na edificação, dos quais a t_{ar} é um dos mais importantes para a avaliação do desempenho e conforto térmico, tiveram seus equipamentos de medição colocados em locais distintos dos indicados pelas normas, quer seja por (in)conveniência do uso no ambiente ou por proteção do equipamento ao contato com os usuários.

Faria e Kaneko (2001) fizeram uma análise térmica das salas de aula do campus da UNESP-Bauru. Foram empregados três equipamentos registradores e armazenadores de temperatura e umidade do ar do tipo HOBO (ONSET CORPORATION), nas medições externas (em abrigo meteorológico) e nos laboratórios. Os equipamentos foram dispostos sobre carteiras nos centros das salas.

Na mesma linha de pesquisa, Andreasi (2001) realizou uma avaliação do impacto de estratégias bioclimáticas na temperatura interna de edificações em Mato Grosso do Sul. As medições internas foram realizadas com sensores eletrônicos mantidos em recipiente isolado, alternando-se diariamente suas posições. Os sensores foram instalados dentro de gaiolas de tela galvanizada, distantes 1,50 m do plano vertical das janelas e a 2,10 m de altura em relação ao piso.

Barbosa (2003) realizou medições de temperaturas do ar durante o ano de 2001 em três edificações residenciais de padrão popular na cidade de Londrina, PR. Nesse trabalho as medições foram realizadas com equipamentos de aquisição de dados de temperatura e umidade do tipo HOBO TEMP RH. Os equipamentos foram fixados na parte superior das paredes das salas de cada edificação, já que elas se encontravam habitadas.

Na Argentina, Compagnoni, Schiller e Evans (2003) estudaram o comportamento térmico em casas de interesse social, duplex e em fita, fazendo medições pós-ocupação e simulações com ferramenta de avaliação de variáveis de projeto. A instalação dos equipamentos foi feita a 2,00 m de altura, correspondente à parte superior das habitações e distante das paredes, para medir a temperatura do ar interior, evitando assim a manipulação dos sensores pelos usuários.

Em Adiazola e Kruger (2003), foi feita uma avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR. Para o levantamento dos dados de temperatura e umidade foram utilizados aparelhos registradores HOBOS. Os *data-loggers* de temperatura e umidade foram dispostos na fachada sul, protegidos por beiral e *brise*, e revestidos com folha de alumínio.

No trabalho de Dornelles (2004), foram feitos estudos de caso sobre a inércia térmica de edificações em São Carlos. Foram utilizados dez sensores HOBOS, colocados no interior de um sistema de isolamento térmico, constituído por duas caixas de poliestireno expandido (EPS) formando uma câmara de ar entre as caixas. Essas caixas foram revestidas interna e externamente por película de alumínio brilhante, para elevar a resistência térmica total do conjunto, e mantidas fechadas. No interior das edificações, os sensores foram instalados na região central dos ambientes monitorados, e a cerca de 1,70 m a partir do piso.

Dencker e Lamberts (2005) realizaram o monitoramento de temperatura e umidade do ar em duas residências localizadas em Manaus. A monitoração foi feita utilizando-se equipamentos eletrônicos HOBOS, que foram fixados em alguns móveis das residências, a uma altura variável de 0,60 m a 0,75 m, quando colocados nos dormitórios; e de 0,90 m a 1,00 m, quando dispostos em salas. Nos dois casos, os HOBOS foram dispostos de modo a não interferirem nas atividades dos moradores.

Dornelles e Roriz (2005) realizaram um levantamento de dados sobre o efeito da inércia térmica nas temperaturas internas de edificações em São Carlos. Para evitar a interferência nas variáveis medidas, os ambientes permaneceram fechados e sem ocupação durante as medições, e os sensores foram protegidos contra radiação térmica. Em cada ambiente, foram instalados dois sensores para a aquisição dos dados de temperatura de bulbo seco; um no interior do ambiente selecionado, e outro no exterior da edificação.

Morais e Roriz (2005) realizaram a medição de temperaturas em protótipos de edificação com cobertura ajardinada em São Carlos, SP. Também foi adotado o sistema eletrônico de aquisição de dados de temperaturas e umidades, modelo HOBO. Para evitar interferências sobre as variáveis medidas, os aparelhos foram posicionados à sombra e no interior de recipientes de alumínio com pequenas aberturas para a livre circulação do ar. Foram medidas temperaturas do ar internas e externas ao protótipo, temperaturas superficiais internas das lajes e umidade relativa do ar.

No trabalho desenvolvido por Leão (2006), em virtude de as edificações estudadas não estarem habitadas, foram realizadas medições no centro do ambiente, conforme especificado nas normas.

Na Tabela 2 é apresentado um quadro-resumo da localização, altura e proteção dos sensores utilizados nas pesquisas mencionadas.

Observa-se preocupação por parte dos pesquisadores em se obterem medições representativas dos ambientes, porém sem interferir no cotidiano dos usuários, o que se traduz em pontos conflitantes.

O estudo realizado neste trabalho tem o intuito de contribuir para a comunidade científica no que diz respeito à interferência de medições em alturas e posições fora do recomendado pela norma, comparando esses efeitos em dois ambientes de materiais construtivos distintos.

O objetivo geral deste trabalho é verificar a influência da posição de equipamento de medição de temperatura do ar no ambiente interno, para

auxiliar os pesquisadores na definição da disposição que melhor represente a temperatura do ar do ambiente, sem interferir nos hábitos e no cotidiano do usuário.

Foram também definidos os seguintes objetivos específicos:

(a) verificar as diferenças entre as medições de temperatura de um mesmo ambiente, quando as variáveis são: a altura do equipamento; o sistema de proteção do equipamento; e a disposição do equipamento no ambiente; e

(b) comparar as diferenças entre as medições de um ambiente de construção pesada e de construção leve.

Pesquisadores	Localização dos sensores	Alturas dos sensores (m)	Proteção contra radiação
Faria e Kaneko (2001)	Centro das salas	Sobre as carteiras 0,70 m	Não especificado
Andreasi (2001)	A 1,50 m do plano das janelas	2,10 m	Dentro de gaiolas de tela galvanizada
Barbosa (2003)	Colados em paredes internas das salas	Acima de 2,00 m	Sem proteção
Compagnoni, Schiller e Evans (2003)	Distante das paredes	2,00 m	Não especificado
Adriazola e Kruger (2003)	Na fachada sul, protegido por beiral e brise	Não especificado	Revestidos com folhas de alumínio
Dornelles (2004)	No centro do ambiente	1,70 m	Duas caixas de EPS, fechadas, revestidas interna e externamente com película de alumínio brilhante, com câmara de ar entre elas
Dencker e Lamberts (2005)	Sobre móveis	0,60 m a 0,70 m (dormitório) 0,90 m a 1,00 m (sala)	Não especificado
Dornelles e Roriz (2005)	Não especificado	Não especificado	Protegido contra radiação
Morais e Roriz (2005)	Não especificado	Não especificado	Dentro de recipiente de alumínio com ventilação
Leão (2006)	No centro do ambiente	De acordo com as normas	De acordo com as normas

Tabela 2 - Posições, alturas e proteções especificadas pelos pesquisadores referenciados

Métodos e Materiais

Escolha das unidades de estudo

Os dados foram obtidos por medição *in loco* de duas edificações não ocupadas, de diferentes sistemas construtivos, uma em madeira (protótipo madeira) e outra edificação em alvenaria tradicional (barracão de alvenaria), ambas próximas ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (Figuras 1 e 2).

O protótipo de madeira tem as suas paredes constituídas por painéis de madeira do tipo *siding* no exterior, câmara de ar com manta aluminizada e painéis de gesso acartonado do lado interno. A cobertura é formada por telhas de madeira, câmara

de ar com manta aluminizada e forro em madeira. Essas características são representativas de uma construção leve e isolada. O barracão em alvenaria é constituído de paredes simples de alvenaria de tijolos cerâmicos vazados, com revestimento chapiscado. A cobertura é formada por telhas de cimento amianto, câmara de ar preenchida por material isolante e forro em PVC. Nesse caso, pode-se caracterizar uma construção mais pesada.

Na escolha pelos ambientes a serem monitorados de cada edificação, optou-se por aqueles que apresentassem duas fachadas expostas à radiação solar. Assim, escolheu-se um cômodo do protótipo de madeira no andar superior da construção, com fachadas oeste e norte expostas. Já no barracão de alvenaria, foi escolhido um dos depósitos com fachadas leste e oeste expostas (Figuras 3 e 4).



Figura 1 - Protótipo de madeira - fachada



Figura 2 - Barracão de alvenaria - fachada

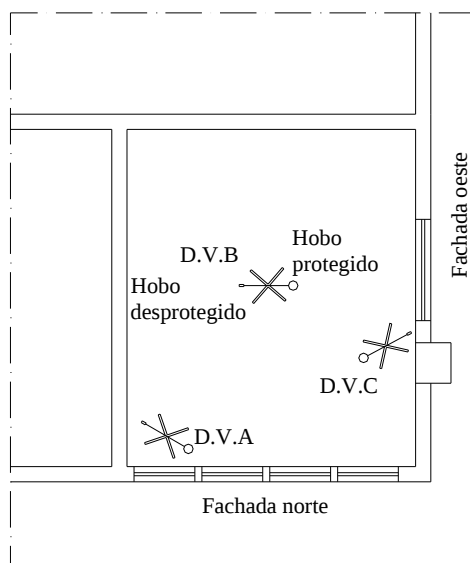


Figura 3 - Protótipo de madeira - cômodo escolhido

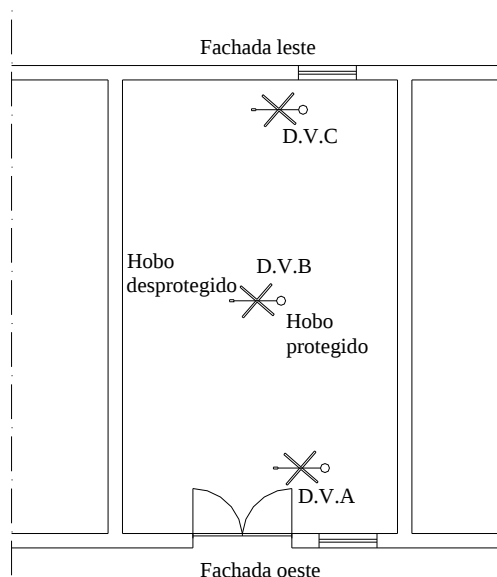


Figura 4 - Barracão de alvenaria - cômodo escolhido



Figura 5 - Equipamento de medição



Figura 6 - Proteção do HOBO

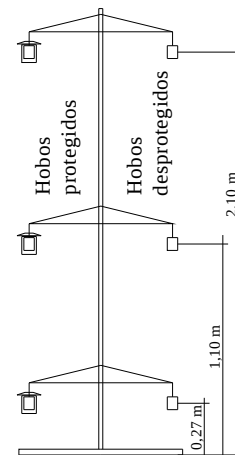


Figura 7 - Dispositivo vertical para medição, em diferentes alturas

Nas alturas escolhidas para a disposição dos equipamentos, objetivou-se estabelecer alturas compatíveis com a ocupação do ambiente pelo usuário, sem que atrapalhassem sua rotina. Tal preocupação foi tomada não pela experiência em si, já que esta foi realizada em ambientes não ocupados, mas para representar o que se vem notando em trabalhos onde são monitorados os dados da temperatura do ar. Assim, a altura de 0,27 m foi escolhida por estar próxima ao piso, mas sem risco de danos ao equipamento; a altura de 1,10 m foi escolhida por ter sido recomendada pelo ISO 7726:1998; e, por fim, a altura de 2,10 m foi escolhida por estar longe do alcance de pessoas, evitando a interferência do usuário.

A figura 5 apresenta o equipamento HOBO, usado para medição de temperatura. A figura 6 apresenta a proteção (barreira de radiação), usada para o equipamento de medição de temperatura. A figura 7 apresenta o esquema do dispositivo vertical para fixar os equipamentos de medição de temperatura, em diferentes alturas.

Os dados obtidos pelas medições em três diferentes posições em planta, três diferentes alturas em relação ao piso, e com e sem proteção de radiação foram organizados na forma de gráficos comparativos. O período de tempo de coleta de dados considerado na análise foi das 22h00 do primeiro dia às 4h00 do terceiro dia, totalizando 30 horas. Esse tempo foi assim considerado por estar livre das interferências de transporte e manuseio dos equipamentos quando da instalação e retirada. Como suporte à interpretação dos resultados, as temperaturas das superfícies foram registradas por meio de fotos infravermelho, indicando as temperaturas das superfícies de cada elemento da construção,

externa e internamente. Para isso foi utilizada câmera THERMACAM FLIR E-25, cedida pela UFSC.

Resultados e Discussão

O resultado da aferição dos 18 HOBOS pode ser visto no gráfico das Figuras 8 e 9, onde se percebe que a diferença nos registros de temperaturas entre os equipamentos HOBOS é menor que 0,4 °C, o que coincide com a sua resolução. As temperaturas registradas no termopar também acompanham os registros de temperaturas nos HOBOS, com uma pequena diferença, tendendo a se igualar quando as temperaturas são menores. Dessa forma, as diferenças nos registros dos equipamentos HOBOS utilizados para a realização dos testes foram consideradas aceitáveis.

A Figura 8 apresenta o resultado de aferição dos registros no termopar com apenas um HOBO. Percebe-se que as temperaturas caem com o tempo nos registros do termopar e caem também no registro do HOBO, mas a queda de temperatura do HOBO não é contínua como no termopar. Isso acontece porque o equipamento HOBO tem uma resolução de 0,4 °C e a queda ocorre em saltos de 0,4 °C em 0,4 °C.

A Figura 9 apresenta ao mesmo tempo os resultados de temperaturas registradas nos 18 equipamentos HOBO, junto com o termopar. Percebe-se que as linhas de cada HOBO se confundem, mas pode-se considerar que todos caem com uma diferença média de 0,4 °C abaixo da linha das temperaturas registradas no termopar, o que coincide também com o valor da resolução dos HOBOS.

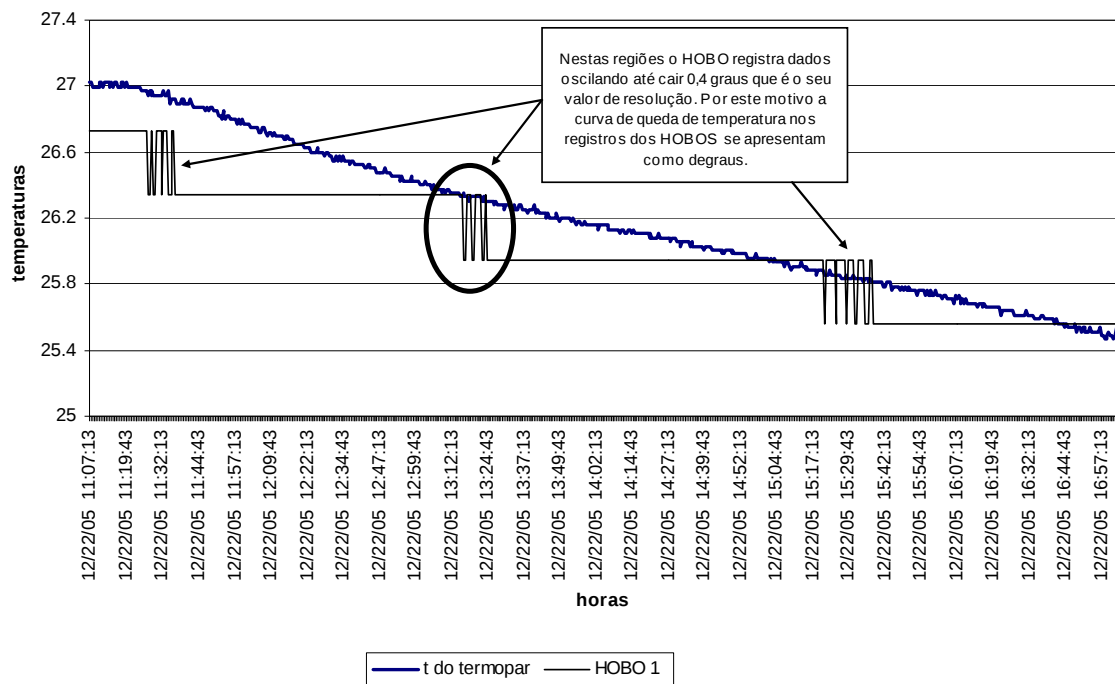


Figura 8 - Temperaturas registradas no HOB0 1 e no termopar no teste de aferição

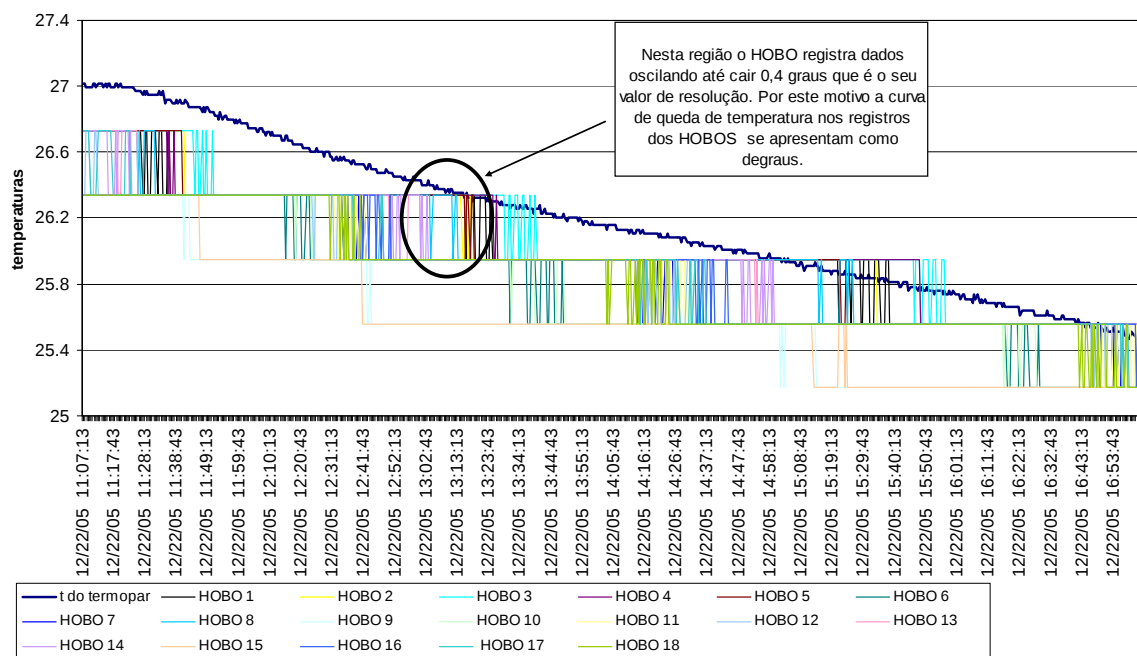


Figura 9 - Temperaturas registradas nos 18 HOBOS e no termopar no teste de aferição

Conforme recomendado pela norma ISO 7726:1998, em sua parte 5, os ambientes foram classificados quanto à homogeneidade da temperatura no espaço. De acordo com essa norma, as variações de temperatura, tanto em alturas quanto em posições diferenciadas, devem estar contidas no limite máximo de 1,5 °C, devido à precisão requerida para o equipamento de medição.

A partir de análise estatística, constatou-se que tanto o protótipo de madeira quanto o barracão em alvenaria são ambientes homogêneos em relação à distribuição de temperatura. A Tabela 3 aponta as variações encontradas entre as médias dos valores obtidos em cada ponto de monitoramento, onde se pode observar a variação máxima de 1,5 °C e a variação mínima de 0,1 °C.

A madeira é um material de baixa condutibilidade térmica e de baixa capacidade de armazenar calor, o que propicia um espaço mais homogêneo que a alvenaria, que tem maior transmitância e capacidade de armazenar calor. Nesse sentido, é importante destacar que o protótipo de madeira, de acordo com o método de cálculo para a verificação da homogeneidade dos ambientes apresentado pela ISO 7726:1998, teve variação de temperatura no espaço numa média de 0,8 °C, enquanto o barracão de alvenaria apresentou variação média de 1,1 °C, ambos dentro do limite previsto na norma, de acordo com a precisão e a resolução do equipamento.

Resultados obtidos no protótipo de madeira

Por meio dos gráficos comparativos, pode-se analisar a interferência da posição em planta e em altura dos equipamentos de leitura nos resultados das temperaturas do ar interno, assim como a influência do uso da proteção contra a radiação. A Tabela 4, elaborada por meio de tratamento estatístico, mostra um quadro-resumo dos dados apresentados nos gráficos.

Influência da altura de monitoramento

Com a análise comparativa entre os gráficos dos dispositivos verticais (D.V.) A, B e C (Figuras 10, 11 e 12), pode-se constatar um comportamento normal em relação às variações de altura do medidor. Como o ar aquecido tende a permanecer nas camadas mais altas do ambiente, as medições feitas a uma altura maior corresponderão a temperaturas maiores. O gráfico da Figura 12 ilustra um problema com HOB0 sem proteção a 0,27 m, que foi substituído às 14h27min.

As medições feitas a 2,10 m apresentaram valores mais elevados em todos os casos, o que é influência direta da insolação a qual a cobertura está exposta o dia todo e da migração da massa de ar aquecida para a parte superior do ambiente por convecção natural. É nessa altura também que se percebe maior influência da temperatura radiante do ambiente, pela diferença entre as medições feitas nos equipamentos com proteção em relação aos não protegidos, o que pode ser explicado pela proximidade da cobertura.

Já as temperaturas obtidas a 0,27 m foram sempre mais amenas devido à troca de calor com o piso com menor temperatura. As temperaturas obtidas pelo equipamento protegido e sem proteção se aproximaram bastante, levando a concluir que não há muita influência da radiação nessa altura.

As temperaturas obtidas a 1,10 m sempre ficaram entre as obtidas a 2,10 m e a 0,27 m, representando a média das temperaturas do ambiente.

Nesse estudo, em geral, as diferenças de altura representaram uma média de 0,9 °C de variação na temperatura do ar para equipamentos desprotegidos da radiação e de 0,8 °C para equipamentos protegidos (Tabela 5).

Influência da posição em planta do equipamento

Os gráficos (Figuras 13, 14 e 15) apresentam as medições de temperatura do ar para cada dispositivo vertical, mantendo-se fixas as alturas, o que permite a comparação das diferentes disposições em planta do equipamento de medição.

Variação de temperaturas obtidas entre diferentes alturas (°C)				
	Protótipo de Madeira		Barracão de Alvenaria	
	sem proteção	com proteção	sem proteção	com proteção
Var. máxima	0,9	0,9	1,3	1,5
Var. média	0,8	0,8	0,9	1,1
Var. mínima	0,8	0,6	0,6	0,7

Variação de temperaturas obtidas entre diferentes posições (°C)				
	Protótipo de Madeira		Barracão de Alvenaria	
	sem proteção	com proteção	sem proteção	com proteção
Var. máxima	0,4	0,4	0,6	1,1
Var. média	0,3	0,3	0,4	0,7
Var. mínima	0,3	0,1	0,3	0,4

Tabela 3 - Variação entre as médias das temperaturas monitoradas

PROTÓTIPO DE MADEIRA							
Dispositivo	temperaturas	0,27 m		1,10 m		2,10 m	
Vertical	obtidas	sem proteção (°C)	com proteção (°C)	sem proteção (°C)	com proteção (°C)	sem proteção (°C)	com proteção (°C)
A (fachada norte)	mínima	28,3	28,7	28,7	28,7	28,7	29,1
	média	30,1	30,2	30,8	30,8	30,9	31,1
	máxima	32,3	32,3	33,2	34,0	34,0	34,0
B (centro)	mínima	28,7	28,7	29,1	28,7	29,1	29,1
	média	30,4	30,4	31,0	30,7	31,2	31,0
	máxima	32,3	32,3	33,6	33,2	34,0	34,0
C (fachada oeste)	mínima	28,3	28,3	29,1	28,3	29,1	29,1
	média	30,4	30,3	31,0	30,4	31,3	31,2
	máxima	33,1	32,8	34,4	32,8	34,9	34,4

Tabela 4 - Resumo de dados de temperaturas obtidas no protótipo de madeira

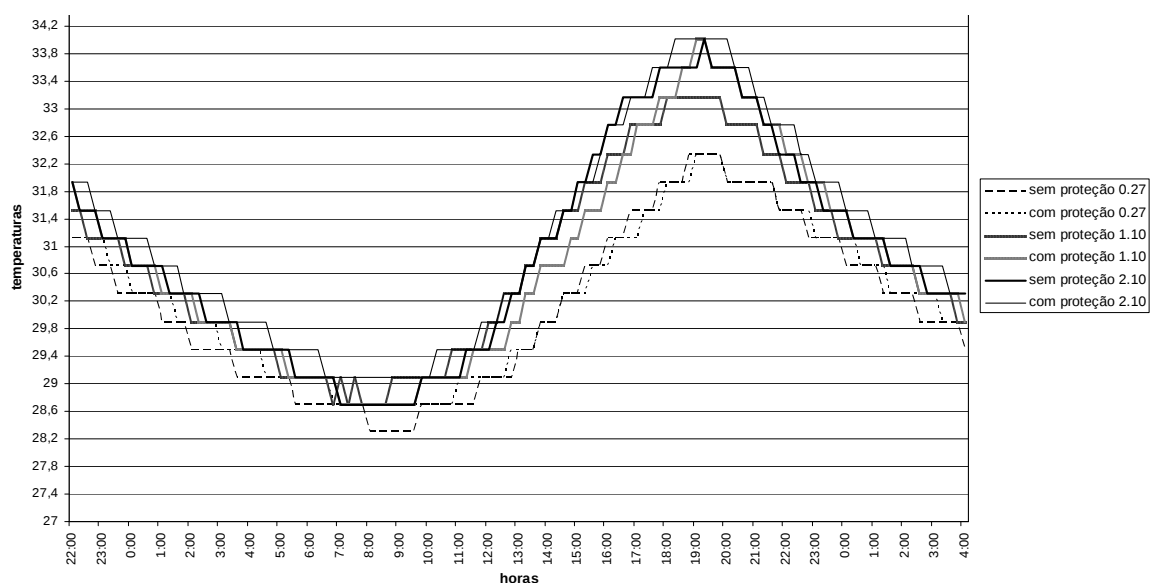


Figura 10 - Temperaturas no dispositivo vertical (D.V.) A do protótipo de madeira

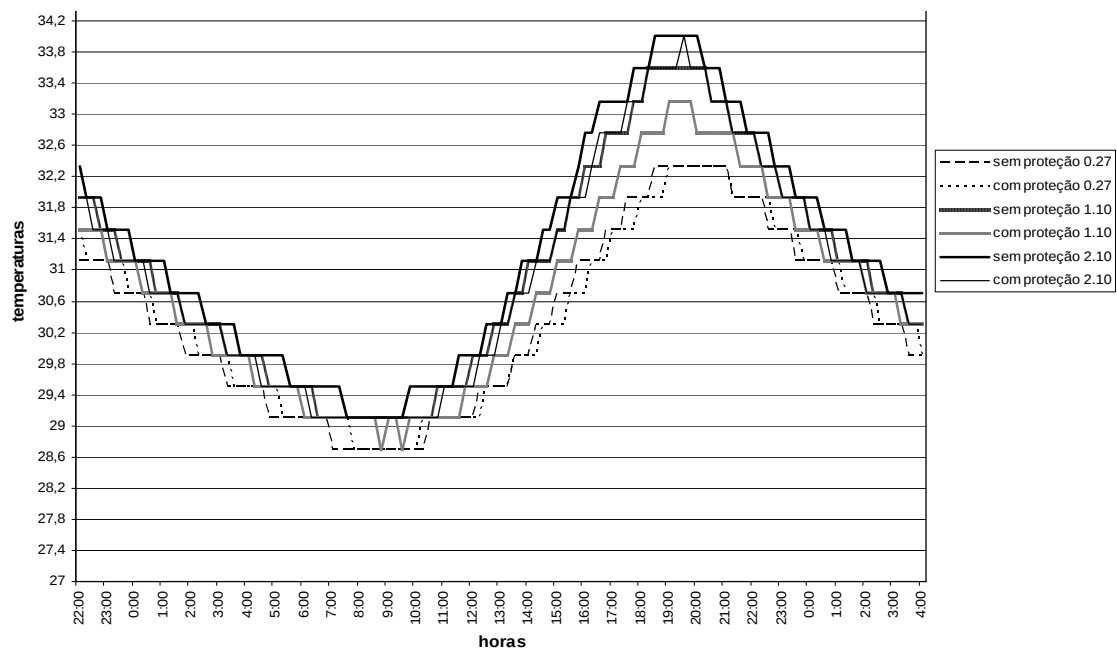


Figura 11 - Temperaturas no dispositivo vertical (D.V.) B do protótipo de madeira

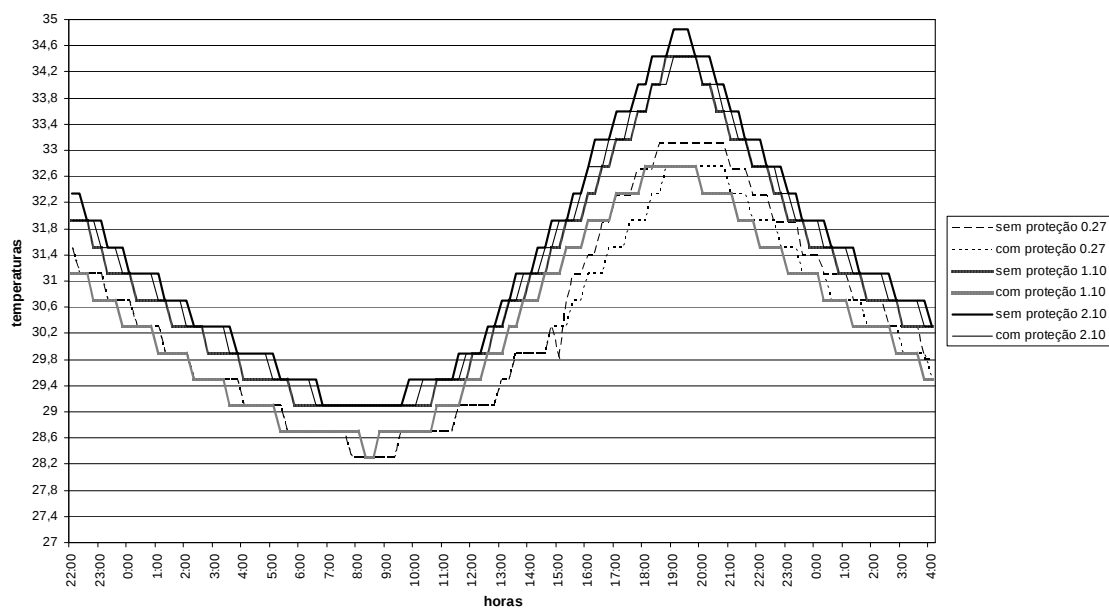


Figura 12 - Temperaturas no dispositivo vertical (D.V.) C do protótipo de madeira

Dispositivo Vertical	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)
A (norte)	0,8	0,9
B (centro)	0,9	0,6
C (oeste)	0,9	0,9
Variação média	0,9	0,8

Tabela 5 - Variação de dados de temperatura do ar obtidos entre diferentes alturas no protótipo de madeira

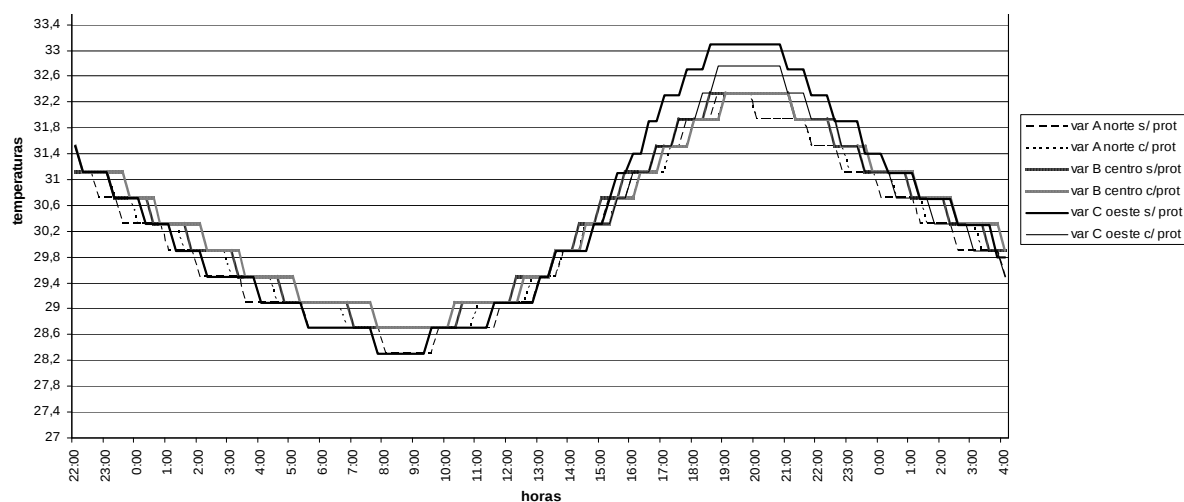


Figura 13 - Temperaturas no nível de 0,27 m do piso no protótipo de madeira

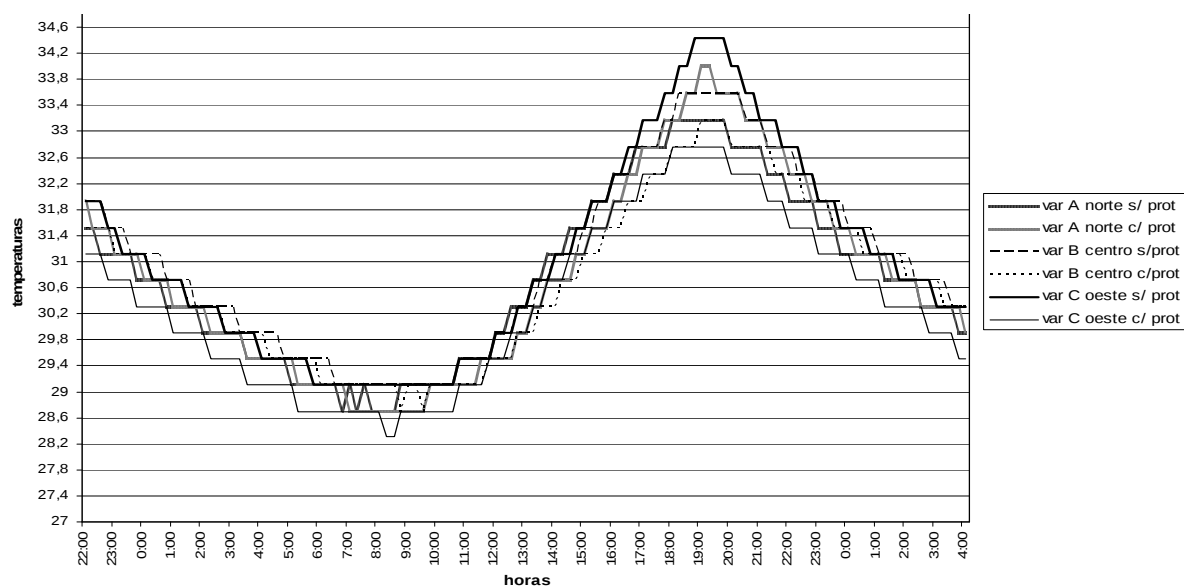


Figura 14 - Temperaturas no nível de 1,10 m do piso no protótipo de madeira

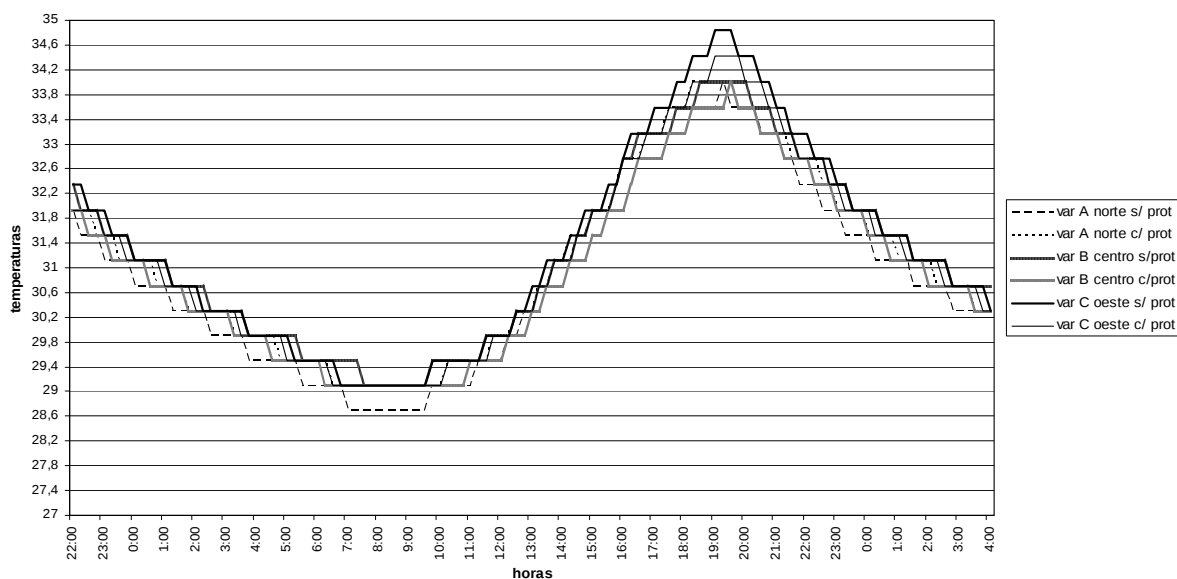


Figura 15 - Temperaturas no nível de 2,10 m do piso no protótipo de madeira

Analisando a variação da temperatura do ar em todas as alturas para o dispositivo vertical A, (localizado próximo da fachada norte), que aparece nas Figuras 13, 14 e 15, observa-se uma situação inesperada em relação ao uso do protetor de radiação no equipamento de medição da t_{ar} . Ao contrário do esperado, as temperaturas registradas pelos HOBOS com protetor foram maiores do que as registradas sem proteção. O ocorrido pode ser explicado destacando-se que a fachada norte possui várias janelas em vidro, as quais se encontravam fechadas no período de medição, não possibilitando qualquer ventilação e/ou renovação do ar.

O vidro favorece o efeito estufa, absorvendo grande parcela dos raios solares que incidem na fachada norte. O fato de o dispositivo vertical A ter sido colocado no canto do ambiente, entre a parede norte e a leste, dificultou ainda mais a movimentação da massa de ar. A ausência de ventilação eficaz impediu que o calor gerado pela bateria do HOBOS fosse liberado e disperso no ambiente, o que foi agravado pela camada de lâmina de alumínio colocada no interior do protetor plástico. Assim, o calor liberado pela bateria, não sendo dissipado no ambiente pela ventilação, foi refletido nas paredes laterais metalizadas do protetor e retornou para o HOBOS, deixando-o com maior temperatura. Esse comportamento foi observado nas três alturas de estudo, porém foi na de 1,10 m que houve maior diferença entre as medições com e sem protetor, o que é explicado pela presença das janelas a essa altura, gerando efeito estufa e medições de temperaturas elevadas.

As leituras feitas no centro do ambiente, representadas pelo dispositivo vertical B, nas Figuras 13, 14 e 15, sempre se mantiveram na média entre as fachadas expostas, o que torna o centro mais representativo da temperatura do ambiente em ambientes homogêneos.

No dispositivo vertical C (fachada oeste), a 1,10 m de altura, observou-se nas Figuras 13, 14 e 15 grande afastamento das temperaturas obtidas com HOBOS protegido e sem proteção, embora o uso da proteção tenha garantido leituras menores, como era de se esperar. No caso, a energia radiante proveniente da fachada oeste influenciou essa divergência entre as medições, numa média de 0,7 °C, já que, em relação às outras disposições, a diferença entre equipamento protegido e não protegido ficou em torno de 0,2 °C apenas.

As fotos tiradas com a câmera THERMACAM FLIR (Figuras 16 e 17), praticamente ao mesmo tempo, confirmam as captações de infravermelho na fachada oeste externamente, notando-se que a temperatura dessa superfície é bastante elevada quando comparada à fachada norte, com variação média de 17,7 °C, conforme apresentado na Tabela 6.

Por meio da análise comparativa das Figuras 13, 14 e 15, as diferentes disposições no espaço (fixando-se as alturas) representaram, em média, variação de 0,3 °C na t_{ar} , tanto para equipamentos sem proteção quanto para equipamentos protegidos da radiação (Tabela 7).

Influência da proteção do equipamento contra radiação

A 0,27 m de altura, as medições nas diferentes posições em planta, com e sem proteção, foram todas muito próximas, já que o piso em madeira não armazena calor. A 1,10 m de altura, percebe-se maior interferência das fachadas expostas à radiação solar, destacando-se a importância do uso da proteção do equipamento para uma leitura com menor erro próximo a essas fachadas. A 2,10 m, as medições apresentaram valores novamente muito próximos, mostrando a pouca influência da disposição do equipamento no ambiente. A baixa capacidade térmica da cobertura, constituída de telha de madeira, é responsável por essa homogeneidade de temperatura.

As medições feitas com equipamento protegido se mostraram inferiores às aquelas sem protetor de radiação, o que demonstra a importância da especificação da ISO 7726:1998 quando trata de proteções metalizadas. Somente no dispositivo vertical A, conforme exposto anteriormente, as temperaturas registradas com o equipamento sem proteção foram todas menores que naqueles com proteção, o que é explicado pela carência de ventilação no sensor (o que mostra a inadequação de formas de proteção e localizações dos equipamentos realizadas em medições de temperatura do ar). Mesmo assim, em média, o uso da proteção contra radiação representou uma queda de, aproximadamente, 0,2 °C na temperatura do ar, conforme a Tabela 8.

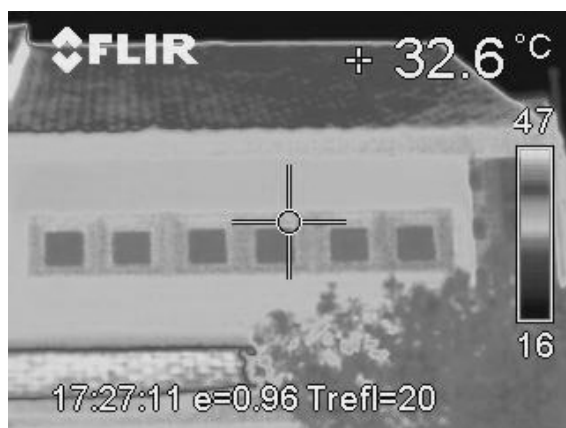


Figura 16 - Foto infravermelho da fachada norte

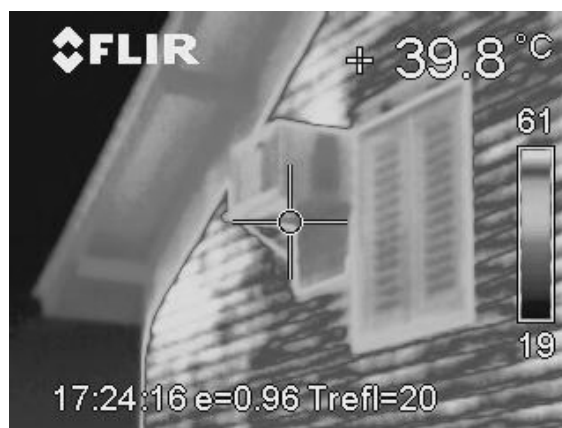


Figura 17 - Foto infravermelho da fachada oeste

Fachada Norte (Figura 16)		Fachada Oeste (Figura 17)		Variação t (°C)
Elemento	temp. (°C)	Elemento	temp. (°C)	
Telhado superior	44,2	Ar condicionado	39,8	
Telhado inferior	51,5	Sombra do ar cond.	38,5	
Esquadria janela	33,5	Beiral	39,9	
Parede madeira	36,3	Parede de madeira	54,0	17,7
Janela	33,5	Janela	39,5	6,0

Tabela 6 - Mapeamento das temperaturas superficiais externas

Alturas Equipamento	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)
0,27 m	0,3	0,1
1,10 m	0,3	0,4
2,10 m	0,4	0,2
Variação média	0,3	0,3

Tabela 7 - Variação entre diferentes posições no protótipo de madeira

	0,27 metros	1,10 metros	2,10 metros
A (norte)	-0,1 °C	0,0 °C	-0,2 °C
B (centro)	0,0 °C	0,3 °C	0,3 °C
C (oeste)	0,1 °C	0,7 °C	0,1 °C

Nota: Variação máxima: 0,7 °C

Variação média: 0,2 °C

Variação mínima: 0,0 °C

Tabela 8 - Variação da temperatura do ar medida por equipamentos com e sem proteção no protótipo de madeira

Em relação às variações da temperatura no tempo, foi por volta das 19 horas que se observou o pico máximo em todos os dispositivos verticais e alturas, destacando também maior variação entre as temperaturas obtidas com e sem proteção dos HOBOS, o que é explicado pelo aumento da energia radiante e acúmulo de calor no ambiente nesse horário.

Resultados obtidos no barracão em alvenaria

Por meio dos gráficos comparativos (Figuras 18 a 23), pode-se analisar a interferência da posição em planta e em altura dos equipamentos de leitura nos resultados das temperaturas do ar interno, assim como a influência do uso da proteção contra a radiação. A Tabela 9, elaborada por meio de tratamento estatístico, mostra um resumo dos dados apresentados nos gráficos.

Influência da altura de medição

A partir da análise comparativa entre os gráficos dos dispositivos verticais A, B e C (Figuras 18, 19 e 20), pode-se compreender a influência da altura dos sensores nas temperaturas medidas.

As temperaturas registradas a 2,10 m sempre foram superiores às registradas a 1,10 m e 0,27 m, influência direta da cobertura em fibrocimento e da migração do ar aquecido para a parte superior do ambiente por convecção natural. A 0,27 m, as temperaturas foram sempre mais amenas, influência do piso diretamente sobre a terra, com temperaturas superficiais próximas à temperatura do ar. As temperaturas obtidas a 1,10 m ficaram na média das outras alturas, representando melhor o ambiente considerado homogêneo.

Com os dados deste estudo, pode-se dizer que as diferenças de altura representaram uma média de

0,9 °C de variação na temperatura do ar para equipamentos desprotegidos da radiação e de 1,1 °C para equipamentos protegidos, conforme mostrado na Tabela 10.

Influência da posição em planta do equipamento

Quanto ao posicionamento dos medidores em planta (comparação ilustrada pelas Figuras 21, 22 e 23), pode-se perceber que no dispositivo vertical A, localizado próximo à fachada oeste, as temperaturas registradas foram as mais elevadas (33,2 °C) em comparação com os 30,7 °C do dispositivo vertical C e os 31,2 °C do dispositivo vertical B. Registraram-se picos que mostram a falta de estabilidade das temperaturas, explicada pela alta radiação da fachada oeste.

As medições feitas no dispositivo vertical B (centro do ambiente) foram as mais representativas do espaço, já que o dispositivo se encontrava afastado das superfícies que apresentam grandes variações de temperaturas, dada a exposição das fachadas à radiação solar.

Por outro lado, o dispositivo vertical C (parede leste) apresentou medições muito próximas às obtidas pelo dispositivo vertical B, o que é explicado pelo baixo índice de insolação recebido nessa fachada. Os resultados indicam, portanto, que a especificação da medição no centro do ambiente pode ser substituída pela medição próxima às fachadas com pouca insolação, ou seja, leste e sul (para edificações próximas ao trópico de capricórnio).

A análise geral dos gráficos das Figuras 21, 22 e 23 mostra que as diferentes disposições no espaço (fixando-se as alturas) representaram, em média, variação de 0,4 °C na t_{ar} , para equipamentos sem proteção e 0,7 °C para equipamentos protegidos da radiação (Tabela 11).

dispositivo	temperaturas	0,27 m		1,10 m		2,10 m	
		sem proteção (°C)	com proteção (°C)	sem proteção (°C)	com proteção (°C)	sem proteção (°C)	com proteção (°C)
A (fachada leste)	mínima	27,1	27,5	27,5	27,1	27,1	27,5
	média	28,9	28,8	29,4	29,2	29,6	29,6
	máxima	31,9	31,9	33,6	33,6	33,2	33,6
B (centro)	mínima	27,5	27,5	27,9	27,5	28,3	27,9
	média	28,2	28,1	29,1	28,8	29,5	29,2
	máxima	29,1	28,7	30,7	29,9	31,1	31,1
C (fachada oeste)	mínima	27,9	27,1	27,9	27,1	27,9	27,9
	média	28,8	27,8	29,1	28,6	29,3	29,3
	máxima	29,8	28,3	30,3	29,9	30,7	30,7

Tabela 9 - Resumo de dados de temperaturas obtidas no barracão em alvenaria

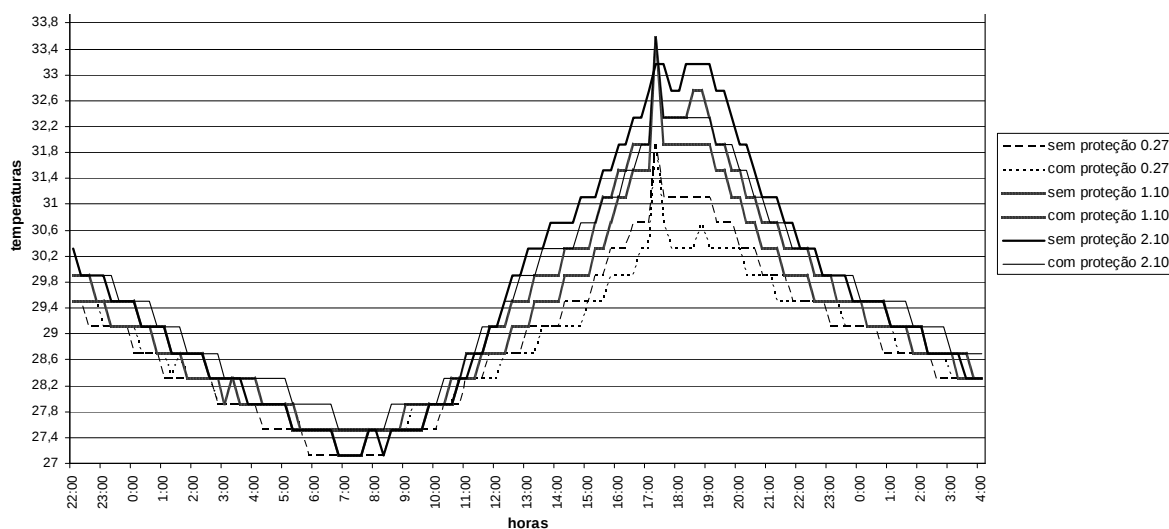


Figura 18 - Temperaturas no dispositivo vertical A, na parede oeste do barracão de alvenaria

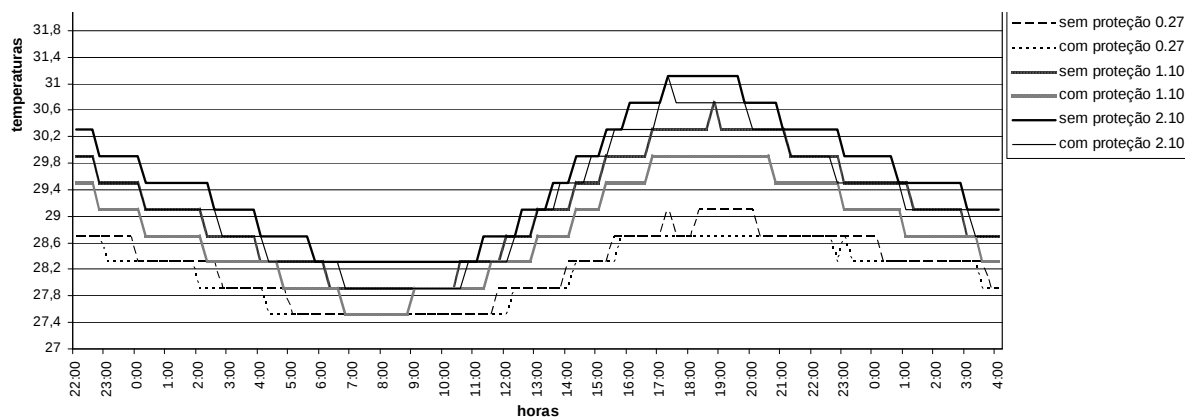


Figura 19 - Temperaturas no dispositivo vertical B, no centro do barracão de alvenaria

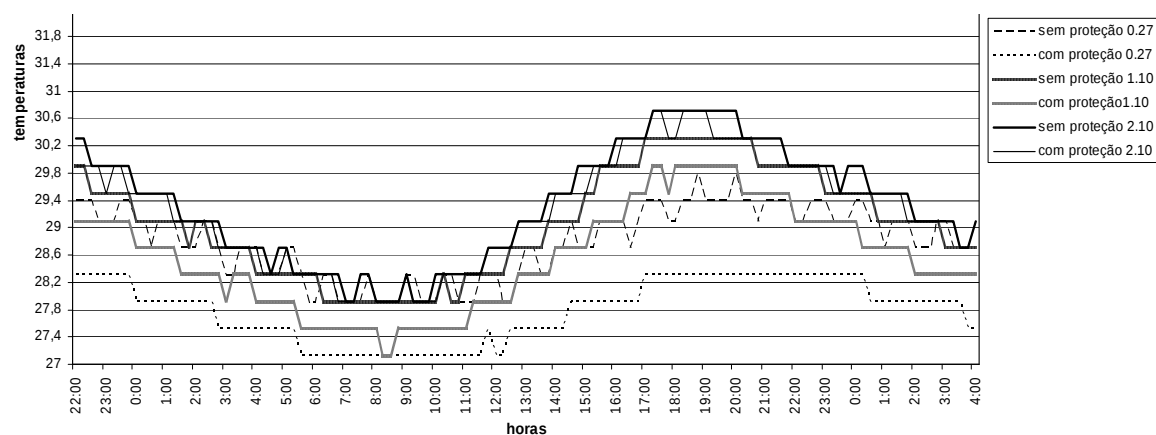


Figura 20 - Temperaturas no dispositivo vertical C, na parede leste do barracão de alvenaria

Dispositivo Vertical	Sem proteção	Com proteção
A (leste)	0,7 °C	0,7 °C
B (centro)	1,3 °C	1,1 °C
C (oeste)	0,6 °C	1,5 °C
Variação média	0,9 °C	1,1 °C

Tabela 10 - Variação de temperatura entre diferentes alturas no barracão em alvenaria

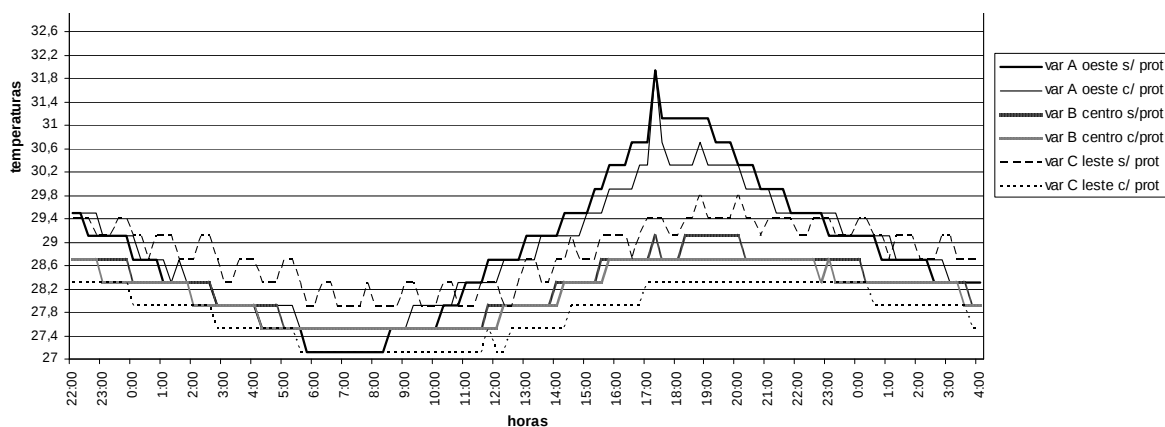


Figura 21 - Temperaturas no nível de 0,27 m do piso no barracão de alvenaria

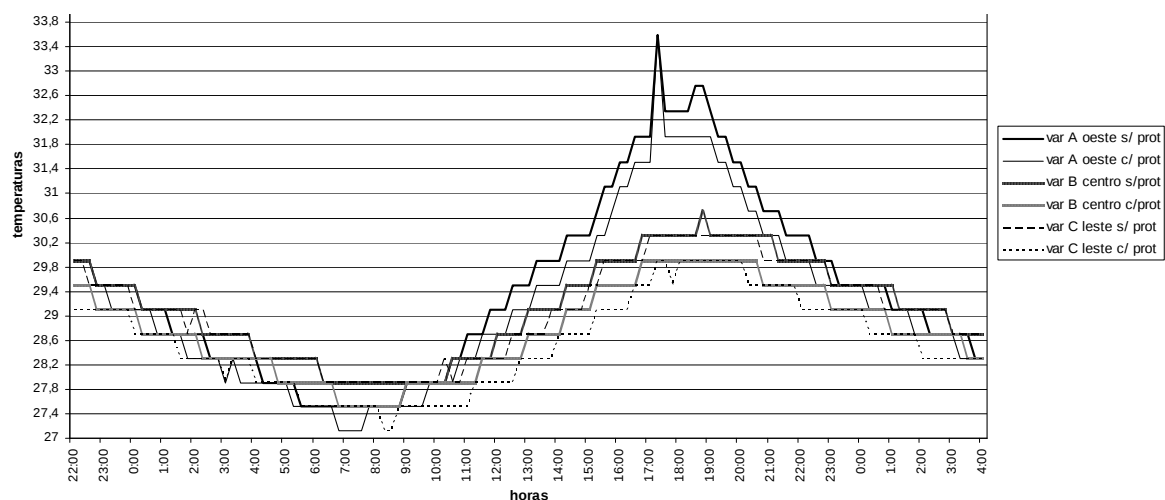


Figura 22 - Temperaturas no nível de 1,10 m do piso no barracão de alvenaria

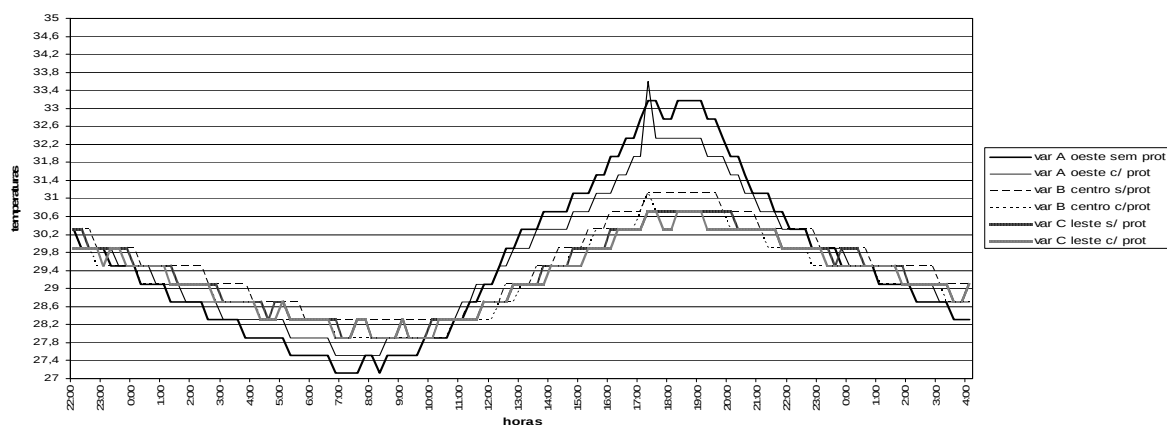


Figura 23 - Temperaturas no nível de 2,10 m do piso no barracão de alvenaria

Alturas	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)
Equipamento		
0,27 m	0,6	1,1
1,10 m	0,4	0,6
2,10 m	0,3	0,4
Variação média	0,4	0,7

Tabela 11 - Variação de temperatura entre diferentes posições no barracão em alvenaria

Influência da proteção do equipamento contra radiação

Quanto à eficiência da proteção contra a radiação, mostrou-se válido, pois evita erros na medição, ou seja, há a necessidade de utilização de proteção sempre. A diferença média entre as temperaturas com e sem proteção ficou por volta de 0,3 °C, valor superior ao encontrado na edificação em

madeira. A proteção torna-se ainda mais importante nas fachadas expostas à radiação solar; no caso, a fachada oeste.

Os picos de temperatura foram observados aproximadamente às 17 horas, sendo sempre maiores na fachada oeste e a 2,10 m de altura.

Influência dos materiais de construção

A construção em madeira, leve e isolada, não armazena calor. As variações de temperatura em relação à posição e altura permaneceram menores em relação ao barracão em alvenaria, com valor máximo de variação de 0,9 °C na t_{ar} interna, o que ilustra maior homogeneidade do ambiente.

No barracão em alvenaria, mais pesado, observou-se menor homogeneidade do ambiente, com valor de variação máxima de 1,5 °C na t_{ar} interna (Tabelas 13 e 14).

Comprova-se a maior homogeneidade no protótipo de madeira, com menores amplitudes térmicas e ausência de picos extremos de temperaturas, o que é ilustrado pelos gráficos com curvas mais lineares.

Comparando com a resolução de 0,4 °C do equipamento de medição HOBO, pode-se dizer que a variação entre diferentes alturas é significativa tanto no sistema construtivo de madeira quanto no de alvenaria.

Comparando com a resolução de 0,4 °C do equipamento de medição HOBO, pode-se dizer que a variação entre o uso ou não de proteção, em média, não é significativa, porém, no caso de tomadas próximas às paredes oeste, com exposição direta à radiação solar, observaram-se variações de 0,7 °C a 1,0 °C.

Nota-se que as curvas de medição com e sem proteção se afastam mais no barracão de alvenaria (0,3 °C) em relação à madeira (0,2 °C). De toda forma, os dois ambientes podem ser considerados homogêneos de acordo com a norma ISO 7726:1998. Considerando-se que as curvas com menor amplitude representam melhor a temperatura média de um ambiente homogêneo, a melhor posição de medição é no centro do ambiente, a 1,10 m do piso, ou próximo às fachadas com pouca insolação, sempre com proteção contra a radiação. No protótipo de madeira, observou-se a importância em manter a medição a 1,10 m do piso, tendo a disposição em planta pouco influenciado nos resultados, desde que o equipamento esteja protegido da radiação quando localizado próximo às fachadas expostas.

Já na edificação em alvenaria, observou-se a importância em realizar as medições a 1,10 m do piso e no centro do ambiente, sempre protegendo o equipamento da radiação. Entretanto, se não for possível posicionar o equipamento no centro do ambiente, recomenda-se colocá-lo próximo a uma fachada sem insolação, ou com pouca insolação, como, por exemplo, a fachada leste.

Comparando com a resolução de 0,4 °C do equipamento de medição HOBO, pode-se dizer que a variação entre diferentes posições é significativa somente no barracão em alvenaria.

Dispositivo vertical	0,27 m	1,10 m	2,10 m
A (leste)	0,0 °C	0,3 °C	0,0 °C
B (centro)	0,1 °C	0,4 °C	0,3 °C
C (oeste)	1,0 °C	0,5 °C	0,1 °C

Nota: Variação máxima: 1,0 °C

Variação Média: 0,3 °C

Variação mínima: 0,0 °C

Tabela 12 - Variação de temperatura entre equipamentos com e sem proteção no barracão em alvenaria

	Madeira		Alvenaria	
	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)
Var. máxima	0,9	0,9	1,3	1,5
Var. média	0,8	0,8	0,9	1,1
Var. mínima	0,7	0,6	0,6	0,7

Tabela 13 - Comparação das variações de temperaturas medidas em diferentes alturas

	Madeira		Alvenaria	
	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)	Sem proteção (°C)	Com proteção (°C)
Var. máxima	0,4	0,4	0,6	1,1
Var. média	0,3	0,3	0,4	0,7
Var. mínima	0,3	0,1	0,3	0,4

Tabela 14 - Comparação das variações de temperaturas medidas em diferentes posições

	Madeira	Alvenaria
Var. máxima	0,7	1,0
Var. média	0,2	0,3
Var. mínima	-0,2	0,0

Tabela 15 - Comparação das variações de temperaturas medidas com e sem proteção contra radiação

Conclusões

Embora os resultados indiquem que, quanto mais pesada a edificação, maior será a influência da disposição dos equipamentos de medição de temperatura do ar no ambiente e também maior será a influência da proteção do equipamento com barreiras de radiação, cuidados e precauções devem ser tomados independentemente do tipo de edificação.

Os resultados apresentados mostram a importância de se seguirem as recomendações preconizadas nas normas ISO 7726:1998, ASHRAE 55:2004 e PNBR 02:136.01.001:2004, com posicionamento central do equipamento de medição e a 1,10 m de altura do piso. É importante destacar também a necessidade de proteção dos equipamentos de medição da temperatura do ar com barreiras de radiação, prevista na norma ISO 7726:1998.

Quando não for possível posicionar o equipamento de medição de acordo com essas recomendações, é admissível posicionar o sensor a, pelo menos, 1,00 m de distância das paredes expostas à radiação solar e com proteção contra radiação. No caso de coletas de dados em alturas muito próximas da cobertura, pode-se considerar que o erro deverá ser maior em construções mais pesadas, e menor em construções leves. O fator de correção, de acordo com o presente estudo, seria de até 1 °C.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PNBR 02:136.01-001**: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ADRIAZOLA, Marcia K.O.; KRÜGER, Eduardo L. Avaliação do desempenho térmico de salas de

aula do CEFET-PR, unidade de Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55/2004**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004.

ANDREASI, Wagner A. **Avaliação do impacto de estratégias bioclimáticas na temperatura interna de edificações no Passo do Lontra, Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

BARBOSA, Miriam J. *et al.* Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos para avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas. In: ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos (Org.). **Normalização e certificação na construção habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. v. 3, p. 135-173.

BATISTA, Juliana Oliveira. **A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semi-árido alagoano**: estudos de caso em Santana do Ipanema-AL. 2006. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://www.posarq.ufsc.br/defesas/disseertacao28.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2006.

COMPAGNONI, Ana M.; SCHILLER, Silvia de; EVANS; John M. Comportamiento térmico en vivienda de interés social: mediciones pos-ocupación y simulaciones como herramientas de

evaluación de variables de diseño. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

DENCKER, Kelly C. G. L.; LAMBERTS, Roberto. Monitoração de temperatura e umidade em duas residências localizadas na cidade de Manaus na estação de “inverno regional”. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

DORNELLES, Kelen; RORIZ, Maurício. Efeitos da inércia térmica sobre as temperaturas internas de edificações na cidade de São Carlos, SP. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.

DORNELLES, Kelen A. **Estudo de caso sobre a inércia térmica de edificações na cidade de São Carlos, SP.** 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

FARIA, João R. G. de; KANEKO, Priscila M. Análise térmica das salas de aula do campus da UNESP – Bauru. In: ENCONTRO NACIONAL, 6., e ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., 2001, São Pedro. **Anais...** São Pedro: ANTAC, 2003.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726:** Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities.1998.

LEÃO, Marlon. **Desempenho térmico em habitações populares para regiões de clima tropical:** Estudo de caso em Cuiabá-MT. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006. Disponível em: <http://www.pgfma.ufmt.br/dissertacoes/Marlon_Leao.pdf>. Acesso em: 26 set. 2006.

MENEZES, Milton Serpa. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo-RS.** 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MORAIS, Caroline; RORIZ, Maurício. Temperaturas em protótipo de edificação com cobertura ajardinada: São Carlos, SP. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005.