

ISSN 0104-1347

Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo

Performance 's evaluation of a low cost meteorological shield

Gustavo Armani¹; Emerson Galvani²

Resumo: Neste trabalho avalia-se um abrigo meteorológico de ventilação passiva de baixo custo para a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar em lugares ermos e desprovidos do fornecimento de energia elétrica. O abrigo mostrou-se eficiente, pois a comparação das séries de temperatura e umidade relativa obtidas nele e em um abrigo comercial padrão revelaram coeficientes de determinação elevados, variação diária semelhante e desvios inferiores ao erro do instrumental utilizado.

Palavras-chave: medidas meteorológicas, temperatura do ar, umidade relativa do ar.

Abstract: In this paper a low cost passive ventilated meteorological shield projected to measure air temperature and relative humidity in remote places without energy supply is evaluated. The shield proved to be efficient, because the comparison of the temperature and relative humidity series obtained with it and with a standard trade shield showed high determination coefficients, analogous daily variation, and smaller deviation than the error of the used instruments.

Key words: meteorological measurements; air temperature; air relative humidity.

Introdução

A pesquisa em climatologia normalmente depende de uma densidade relativamente alta de observações espaciais e temporais, o que dificulta a aquisição de equipamentos e suprimentos básicos para a operação e funcionamento deles, tais como baterias, painéis solares, microcomputadores, etc., em número suficiente para as necessidades de alguns temas de pesquisa dessa área do conhecimento. Os registradores digitais autônomos de temperatura e umidade relativa são uma solução parcial para este problema, pois conforme AZEVEDO & FUNARI (2001), esses equipamentos não apresentam bons resultados se utilizados dentro do abrigo meteorológico padrão. AZEVEDO & TARIFA (2001) apresentam um miniabrigo de ventilação

forçada, o que torna as medidas efetuadas por estes microrregistradores digitais comparáveis e confiáveis em relação àquelas obtidas com psicrômetros de Assmann convencionais utilizados nas estações meteorológicas oficiais. CUNHA *et al.* (2001) utilizaram-se de miniabrigos de ventilação passiva construídos com acrílico para a avaliação de um psicrômetro de termopar. Eles obtiveram bons resultados quando comparados com o sensor HMP45C da Campbell.

Na proposta de pesquisa de ARMANI (2003), há necessidade de medidas de temperatura e umidade do ar em vários pontos da bacia B do Núcleo de Cunha, para as quais seria conveniente o uso de miniabrigo de ventilação forçada proposto por AZEVEDO & TARIFA (2001). Entretanto, como

¹ Instituto Geológico – SMA (SP), Av. Miguel Stéfano, 3900, Água Funda, 04301-903, São Paulo (SP), Brasil. e-mail: gustavo@igeologico.sp.gov.br

² Departamento de Geografia/FFLCH/USP, Av. Prof. Lineu Prestes, 338, Cidade Universitária, 05513-900, São Paulo (SP), Brasil. e-mail: egalvani@usp.br

não há fornecimento de energia elétrica nos locais e o consumo de energia para movimentar a ventoinha é relativamente alto, seriam necessárias, no mínimo, nove baterias (se possível acopladas a painéis solares para recarregá-las) para que fossem alimentados todos os postos de medida, com custos proibitivos para as condições financeiras da pesquisa. Desta forma, desenvolveu-se um miniabrigo meteorológico de ventilação passiva de baixo custo (Abc) para ser aplicado nas pesquisas em áreas desprovidas de energia elétrica, sem erros significativos nos registros. A sua concepção e o seu desempenho nas medidas de temperatura e umidade relativa em condições operacionais de rotina são discutidos neste trabalho.

Material e Métodos

O abrigo foi inspirado no modelo *41003 10-Plate Gill Radiation Shield* (Campbell Inc.). Ele permite uma boa ventilação natural por todos os lados, inclusive por baixo, bloqueando a entrada de chuva e de radiação solar direta, pois há uma área de superposição entre os “anéis” (inferior e superior), que bloqueia a entrada delas (figura 1), permitindo a entrada de radiação solar difusa, assim como acontece no abrigo meteorológico padrão, que permite a entrada de radiação solar refletida pelo solo, bem como a de radiação de onda longa emitida pela superfície. O Abc foi feito com chapa de ferro galvanizado de 0,5 mm de espessura e pintado com tinta esmalte branco brilhante, tendo diâmetro de 220 mm e pé direito central de 240 mm. O custo total do Abc, por unidade, é de R\$30,00, cerca de 20 vezes inferior ao abrigo da Campbell na cotação do dólar de 23/06/2004, sem as taxas aduaneiras.

O experimento foi realizado na estação meteorológica experimental do Departamento de Geografia, à latitude de 23,4° S, longitude de 46,7° W e altitude de 742 metros, instalada sobre o telhado do prédio do departamento, em um gramado sobre a laje de concreto com 25 m². O período de registro compreendeu um total de seis dias sob a ação de sistema polar em tropicalização, no período de 26/02/04 a 03/03/04. A atuação desse sistema durante a realização do experimento foi bastante proveitosa, com exposição do abrigo à significativos aquecimento diurno (33°C) e resfriamento noturno (14°C).



Figura 1. O abrigo meteorológico de baixo custo (Abc) em evidência, e uma representação esquemática do abrigo de Campbell acima e a esquerda.

O desempenho do Abc foi avaliado em comparação com o abrigo Campbell acima citado, designado a partir de agora com AP, contendo um sensor Humicap HMP45C, tomando-se a temperatura e a umidade do ar medidas por esse sensor como padrão (respectivamente, T_p e U_p). Ambos foram instalados a 2 m acima do solo, sendo o AP no centro do gramado e o Abc deslocado 70 cm para fora do centro e a leste do AP. Dentro do Abc foram colocados dois microrregistradores digitais da marca Onset, modelo Stow Away, sendo um para registrar a temperatura do ar, designado registrador de temperatura do ar (RT), e o outro para a umidade relativa, designado registrador de umidade relativa do ar (RU). A temperatura do ar registrada por RT dentro do abc foi designada T_{abc} , e a umidade relativa do ar registrada por RU dentro do abc foi designada U_{abc} . Os registros ocorreram das 17:00 h de 26 de fevereiro até 16:00 h de 03 de março.

Realizou-se uma avaliação qualitativa preliminar dos registros buscando identificar discrepâncias, não sendo identificado nada que comprometesse a série de dados. Calculou-se a média para cada hora do dia a partir dos registros a cada 5 minutos para se reduzir o volume de dados, obtendo-se: a) valores extremos, média aritmética simples, desvio médio e desvio padrão sem distinções horárias e diárias; b) valores extremos e média aritmética simples, por hora do dia para cada série de registros e para as seguintes diferenças entre séries: $T_{abc}-T_p$ e $U_{abc}-U_p$; c) os parâmetros de

regressão linear e os coeficientes de determinação para as seguintes relações: $T_{abc}=f(T_p)$; $U_{abc}=f(U_p)$.

Resultados e Discussão

Por questões de restrição de equipamentos e financeiras, o experimento foi realizado com instrumentos diferentes em cada um dos abrigos, o que pode resultar em erros decorrentes dos equipamentos e não propriamente do abrigo. Seria conveniente realizar o experimento com sensores iguais em ambos os abrigos, a fim de avaliar mais precisamente o abrigo desenvolvido.

A tabela 1 mostra que a série de dados de T_{abc} é mais dispersa que T_p . Embora as médias sejam diferentes apenas por dois décimos de grau, a diferença entre as amplitudes chega a 1,9 graus, sendo que a maior amplitude é de T_{abc} . Comparando-se os valores máximos de T_{abc} e T_p , nota-se que a diferença é 1,2°C ($T_{abc} > T_p$). Por outro lado, em relação aos valores mínimos, T_{abc} é 0,6 graus menor que T_p . Pode-se dizer que o Abc , nos horários de maior insolação e aquecimento, aumenta a temperatura do ar dentro do abrigo decorrente da emissão de ondas longas pela chapa de metal que o compõe e, por outro lado, que nos horários de maior resfriamento, por ser mais ventilado e aberto que o Ap , diminui a temperatura do ar no abrigo (Figura 2a e 2b). O valor do desvio médio em relação à média é significativamente menor para T_p que para T_{abc} . Certamente a inércia térmica do material de Ap é maior que da chapa de ferro do Abc , fazendo com que a temperatura não aumente e nem diminua tão rapidamente.

Pelas figuras 2a e 2b, comprova-se o descrito a partir da tabela 1, ou seja, durante os horários de maior aquecimento (às 15:00 horas), T_{abc} é maior que T_p , e nos horários de maior resfriamento (às

6:00 horas) T_p é maior que T_{abc} . As diferenças são mais significativas nos períodos mais quentes do dia. Além disso, nota-se também que Abc se aquece e se resfria mais rapidamente que Ap . A Figura 2b ilustra a variação horária dos desvios de temperatura entre T_{abc} e T_p ($T_{abc}-T_p$) ao longo dos dias do experimento. Os desvios menores ocorrem perto do meio-dia e no dia 01 de março de 2004 às 12:00 ocorreu a maior diferença entre T_{abc} e T_p . Entre 18:00 e 07:00 os desvios são negativos, ou seja, T_{abc} é menor que T_p .

Da análise dos resultados das figuras 3a e 3b nota-se que os coeficientes de determinação entre T_{abc} e T_p nas fases de resfriamento (18:00 às 05:00) e aquecimento (06:00 às 17:00) são significativos, aproximando-se do índice máximo 1. Entretanto, a rigor, pequenas diferenças são significativas, pois espera-se que instrumentos concebidos para um mesmo fim produzam resultados semelhantes. Este gráfico também demonstra pelo ajuste da reta de regressão que as menores temperaturas registradas no Abc são mais baixas que em Ap , e o contrário ocorre com as máximas temperaturas ($T_{abc} > T_p$).

A figura 4 revela que das 19:00 às 6:00 horas os desvios ($T_{abc}-T_p$) permanecem praticamente constantes em -0,5°C, o que provavelmente esteja ligado às características físicas do Abc e Ap , pois o primeiro é mais aberto e ventilado que o segundo e o material utilizado para a construção de ambos os abrigos devem ter calor específico diferentes, sendo que o material do Abc deve ter um calor específico menor. Além disso, o maior resfriamento pode estar relacionado ao efeito de *windchill* sobre RT , já que Abc é mais ventilado que Ap . Nota-se também que os desvios máximos e mínimos da série não se distanciam muito das médias horárias dos desvios nestes horários de resfriamento. A situação se inverte entre as 8:00 e 17:00 horas, quando a média horária

Tabela 1. Séries de temperatura - parâmetros estatísticos elementares

Parâmetros	T_{abc} (°C)	T_p (°C)	$T_{abc}-T_p$ (°C)
Média	22,4	22,2	0,2
Mínimo	14,7	15,3	-0,6
Máximo	31,8	30,6	1,2
Amplitude	17,2	15,3	1,9
Desvio médio	4,2	3,6	0,6
Desvio padrão	4,9	4,3	0,6

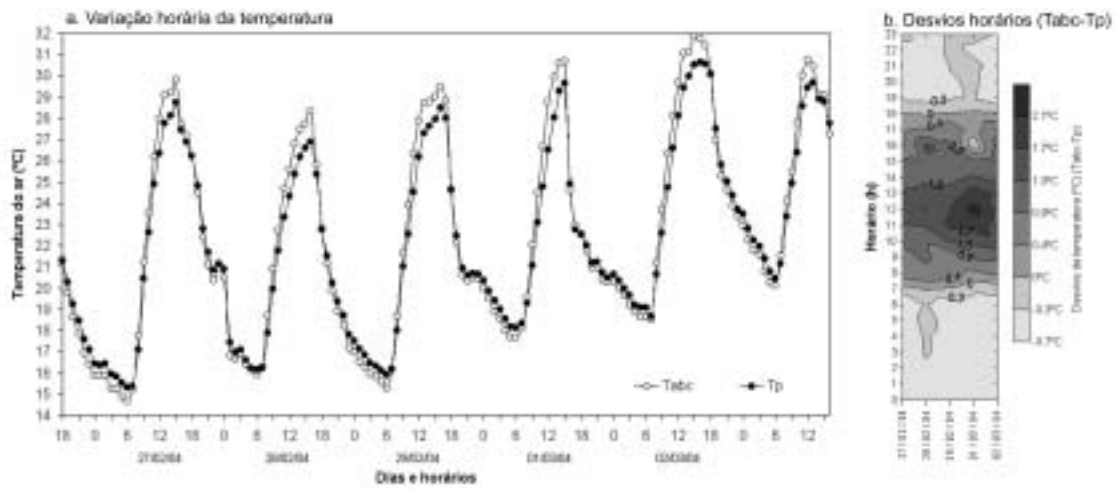


Figura 2. (a) Variação horária da temperatura padrão do ar (Tp) e da temperatura no abrigo de baixo custo (Tabc) durante o período do experimento (b) Desvios horários da temperatura (Tabc-Tp) durante o período do experimento.

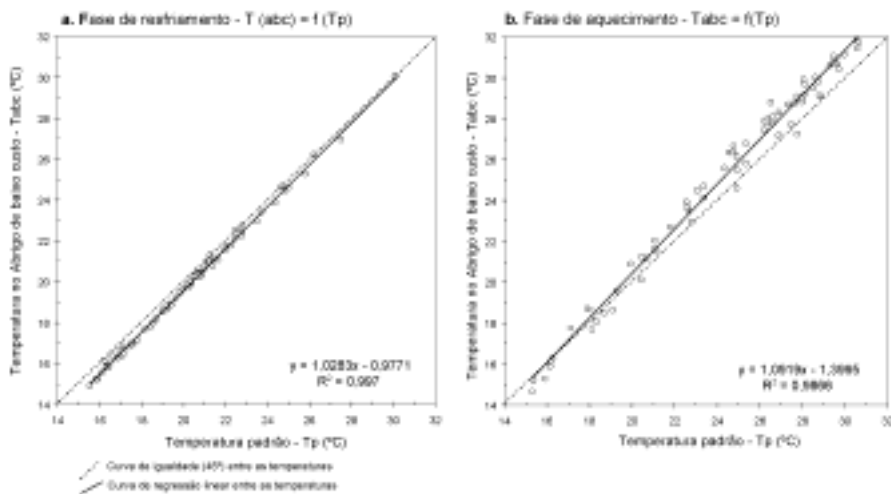


Figura 3. (a) Temperatura horária do ar no abrigo de baixo custo em função da temperatura padrão na fase de resfriamento (18:00 às 05:00); (b) Temperatura horária do ar no abrigo de baixo custo em função da temperatura padrão na fase de aquecimento (06:00 às 17:00).

dos desvios atinge valores positivos e maiores que 0,5°C. Das 8:00 às 12:00 os desvios aumentam progressivamente até atingir 1,6°C às 12:00. O desvio máximo também ocorre às 12:00 horas, mas seu valor é significativamente maior, ou seja, 2,3°C acima de Tp. A cobertura do Abc absorve mais intensamente a radiação solar incidente nos horários quando o sol está próximo ao zênite, aumentando sua temperatura, ocorrendo emissão de calor para dentro do abrigo, aquecendo o volume no seu interior e fazendo com que os desvios sejam maiores nestes horários do que nos horários de maior aquecimento

do ar (às 15:00). A partir das 13:00 os desvios diminuem até as 14:00, fica estabilizado até as 15:00, caindo novamente até às 16:00 e estabilizando-se até as 17:00, para diminuir progressivamente até as próximas horas. Os desvios máximos e mínimos seguem paralelamente aos desvios médios entre 8:00 e 12:00, sendo que a partir das 12:00 as curvas comportam-se de maneiras distintas em relação à média horária do desvio, notadamente os desvios mínimos. O comportamento destes desvios mínimos deve ser decorrente de períodos em que o Sol pode ter sido encoberto por nuvens, fazendo com que a

emissividade do telhado do abc diminuísse, reduzindo a temperatura do ar interno do abrigo, aproximando T_{abc} de T_p , ou tornando-o mais frio (16:00). Às 7:00 e 18:00 a média dos desvios são nulas, mas os desvios máximo e mínimo distanciam-se um pouco da média às 7:00, mas são praticamente inexistentes às 18:00 h.

Para os dados de umidade relativa, a partir da tabela 2 pode-se notar que os dados de U_{abc} são mais dispersos que U_p , entretanto as variações ocorridas nestes parâmetros estatísticos entre U_{abc} e U_p estão todas contidas dentro do erro instrumental de ambos os sensores ($\pm 5\%$).

Nota-se pela figura 5 que as formas das curvas são semelhantes, mas a amplitude de U_{abc} é maior

que U_p , porque durante o início da madrugada U_{abc} é frequentemente menor que U_p . Além disso, durante o período noturno a umidade relativa é mais elevada em U_{abc} que em U_p , devido à relação inversa entre a umidade relativa e a temperatura. Desta forma, é compreensível que a umidade relativa em U_{abc} tenha uma maior amplitude que em U_p . Além disso, pode-se perceber que a umidade relativa do ar no U_{abc} diminui e aumenta mais rapidamente que em U_p . Apesar destas diferenças, a figura 6 revela que o coeficiente de determinação é relativamente alto e que na fase de aquecimento os dados são mais dispersos que na fase de resfriamento, resultando num coeficiente de determinação menor. De certa forma, isso pode estar relacionado ao efeito do aquecimento do abrigo pela radiação solar. Convém ressaltar que estes erros também podem ser em parte

Figura 4. Desvio da temperatura no abrigo de baixo custo em relação à temperatura padrão do ar ($T_{abc}-T_p$) por horário.

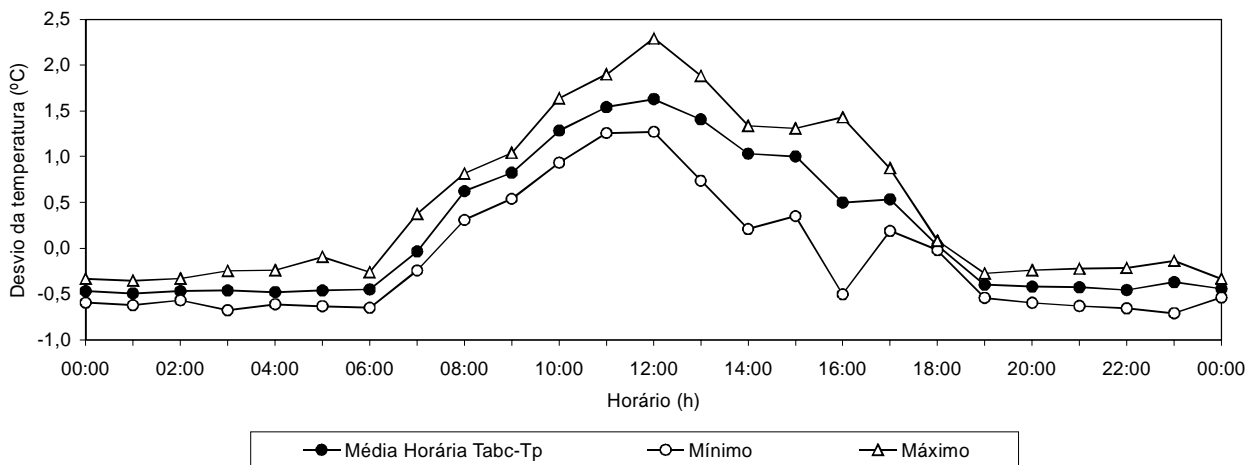


Tabela 2. Séries de umidade relativa - parâmetros estatísticos elementares

Parâmetros	U_{abc} (%)	U_p (%)	$U_{abc} - U_p$ (%)
Média	76,0	77,0	-1,0
Mínimo	34,9	39,7	-4,8
Máximo	100,0	100,0	0,0
Amplitude	65,1	60,3	4,8
Desvio médio	19,7	16,4	3,3
Desvio padrão	22,4	18,9	3,5

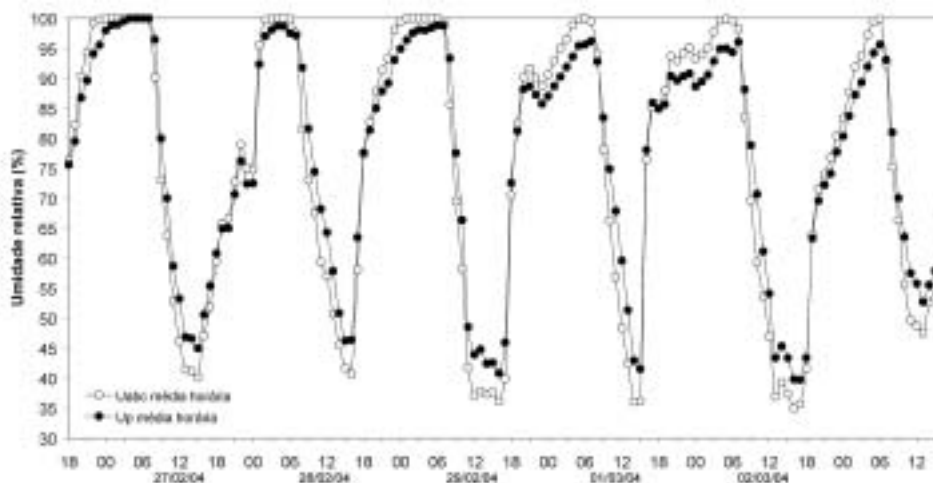


Figura 5. Variação horária da umidade relativa padrão e no abrigo de baixo custo.

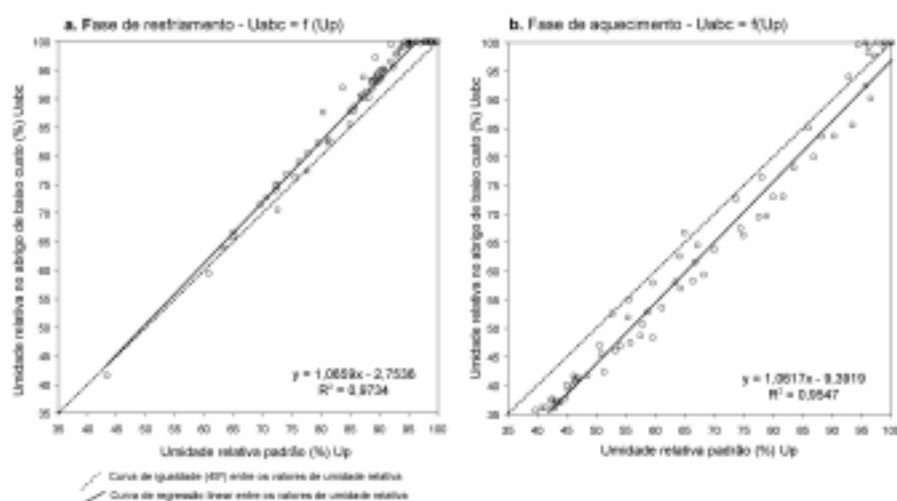


Figura 6. (a) Umidade relativa horária do ar no abrigo de baixo custo em função da umidade relativa padrão na fase de resfriamento (18:00 às 05:00); (b) Umidade relativa horária do ar no abrigo de baixo custo em função da umidade relativa padrão na fase de aquecimento (06:00 às 17:00).

originários dos sensores utilizados, como o higrômetro capacitivo.

Da leitura da figura 7 depreende-se que os desvios positivos de U_{abc} em relação a U_p (máximo, médio e mínimo) estão dentro do erro instrumental dos sensores, sendo, portanto aceitáveis para os equipamentos utilizados, mas, os desvios negativos (que ocorrem nos períodos mais quentes do dia)

superam o erro instrumental, que está ligado ao efeito do maior aquecimento que ocorre dentro do Abc.

Considerações Finais

Pelo exposto, pode-se dizer que o Abc serve como um abrigo de ventilação passiva para lugares ermos, principalmente se for instalado dentro de ambientes microclimáticos de florestas, pois a

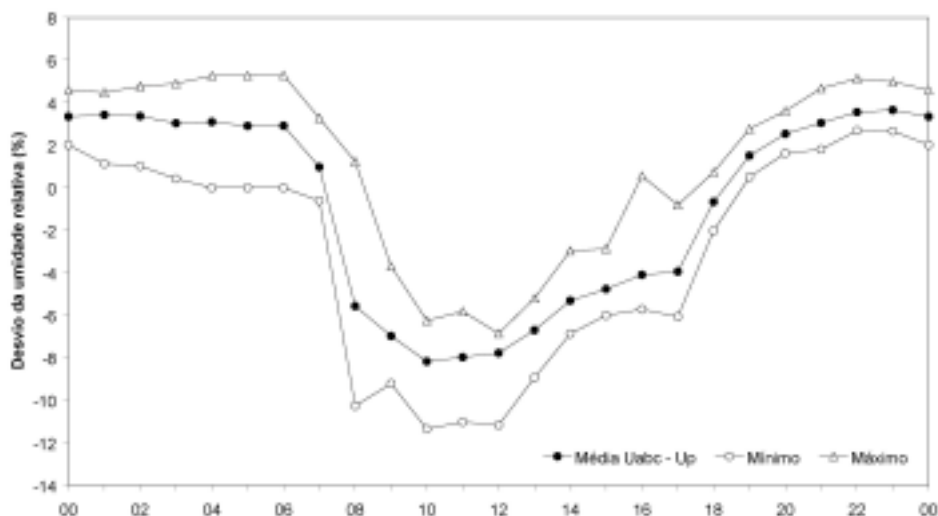


Figura 7. Desvio da umidade relativa no abrigo de baixo custo em relação à umidade padrão (Uabc-Up) por horário.

radiação solar não incidirá diretamente sobre ele. O efeito de maior aquecimento diurno decorrente da absorção de radiação solar direta sobre o abrigo, e a conseqüente emissão de calor para dentro dele pode ser corrigida, talvez, colando-se sob o telhado do Abc uma ou duas camadas de algum isolante térmico, melhorando os registros que forem obtidos dentro dele nos horários mais quentes do dia. Esse aprimoramento está sendo testado atualmente. Por outro lado, no período noturno ele deve ser mais fiel no registro das temperaturas que o abrigo da Campbell, justamente por ser mais ventilado e aberto.

Seria conveniente testar este abrigo sob a ação dos outros sistemas atmosféricos para verificar o seu comportamento noutras situações. No entanto, acredita-se que a amplitude térmica registrada neste trabalho serve como um bom indicador de que ele teria bom comportamento nessas outras situações.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo pelo fornecimento dos dados da estação meteorológica,

dos microrregistradores digitais e pela manutenção dos equipamentos durante o experimento.

Referências Bibliográficas

ARMANI, G. Variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha – SP. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM GEOGRAFIA FÍSICA, 1., São Paulo, 2003, São Paulo, SP. **Anais...**, São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Geografia Física/FFCLH/USP, 2003. 821p. p. 288 - 300.

AZEVEDO, T. R. & FUNARI, F. L.. Desempenho de registradores digitais de temperatura e umidade do ar em abrigo meteorológico padronizado: estudo comparativo preliminar visando uso em trabalho de campo. **GEOUSP**, São Paulo, n.10, p. 147-164, 2001.

AZEVEDO, T. R. & TARIFA, J. R. Miniabrigo meteorológico aspirado do Laboratório de Climatologia e Biogeografia e seu uso no estudo geográfico do clima. **GEOUSP**, São Paulo, n. 10, p. 165-174, 2001.

CUNHA, A. R. et al. Avaliação de um psicrômetro de termopar de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n. 1, p. 17-22, 2001.