

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM ABRIGO METEOROLÓGICO DE BAIXO CUSTO

Performance's evaluation of a low cost meteorological shield

Gustavo ARMANI¹; Emerson GALVANI²

Resumo: O objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação de um abrigo meteorológico de ventilação passiva de baixo custo construído 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 com aquelas obtidas no abrigo padrão revelaram coeficientes de determinação elevados, variação diária semelhante, e desvios inferiores ao erro do instrumental utilizado.

Palavras-chave: Abrigo meteorológico de baixo custo, Desempenho, Temperatura do ar, Umidade relativa do ar.

Abstract: The purpose of this work is to evaluate a low cost passive ventilated meteorological shield, that has been constructed to collect air temperature and relative humidity in desert places without energy supply. The shield proved to be efficient, because the comparison of the temperature and relative humidity series obtained in it showed high Square Chi values, analogous diary variation, and smaller deviation when compared with the standard shield series.

Key words: Low cost meteorological shield; Performance; Air temperature; Air relative humidity.

Introdução

A carência de recursos financeiros nos institutos e departamentos das universidades públicas brasileiras dificulta a aquisição de equipamentos adequados para o desenvolvimento das pesquisas. Essa situação, por outro lado, estimula a criação e desenvolvimento de equipamentos de baixo custo viáveis de serem aplicados cientificamente.

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

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

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. É o caso da proposta de ARMANI (2003), que necessita de medidas de temperatura e umidade em vários pontos dentro da bacia B do Núcleo Cunha (IF). Nesta situação, em que é necessária uma série contínua e longa de dados, é inviável o uso de uma equipe de pessoas para levantar os dados de temperatura do ar e umidade relativa 24 horas por dia ao longo de vários meses. Os registradores digitais autônomos de temperatura e umidade relativa são uma solução parcial para este problema, pois conforme AZEVEDO & FUNARI (2001) estes equipamentos não apresentam bons resultados se utilizados dentro do abrigo meteorológico padrão. Assim, AZEVEDO & TARIFA (2001) apresentam um miniabrigo de ventilação forçada, o que torna as medidas efetuadas por estes microrregistradores digitais comparáveis e confiáveis em relação às 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.

Para a proposta de pesquisa de ARMANI (2003) seria conveniente utilizar-se daqueles miniabrigos de ventilação forçada (AZEVEDO & TARIFA, 2001). Em virtude desta situação, como não há fornecimento de energia elétrica no lugar e o consumo de energia para movimentar a ventoinha é relativamente alto, uma bateria não seria capaz de fazê-lo funcionar por mais de uma semana. Além disso, seriam necessárias, no mínimo, nove baterias (se possível acopladas a painéis solares para recarregá-las) para que pudessem alimentar todos os postos microclimáticos. Sendo assim, os custos tornam-se-iam proibitivos para as condições financeiras da pesquisa. Desta forma, desenvolveu-se um miniabrigo meteorológico de ventilação passiva de baixo custo que pudesse ser aplicado nas pesquisas em áreas desprovidas de energia elétrica sem erros significativos nos registros de temperatura e umidade.

O objetivo deste trabalho é apresentar a concepção e avaliar o desempenho deste abrigo de ventilação passiva de baixo custo nas medidas de temperatura e umidade relativa em condições operacionais de rotina.

Material e métodos

O abrigo de baixo custo (Abc) de ventilação passiva foi inspirado no modelo *41003 10-Plate Gill Radiation Shield* da Campbell, utilizado para proteger o sensor Humicap. O Abc permite uma boa ventilação natural por todos os lados, inclusive por baixo, mas não permite a entrada de chuva e de radiação solar direta em nenhum momento do dia, pois há uma área de superposição entre os “anéis” (inferior e superior), que bloqueia a entrada delas (figura 1). Evidentemente a radiação solar difusa entra no abrigo e interage com o sensor que está dentro dele, assim como acontece no abrigo meteorológico padrão, cujo fundo é totalmente permeável à radiação solar refletida pelo solo, bem como à 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. O diâmetro é 220 mm e o pé direito central é 240 mm.

O custo total do Abc, por unidade, é de R\$30,00, o que equivale a US\$9,31 (cotação do dólar em 23/06/2004). O preço do abrigo da Campbell é de US\$198,95 (R\$640, 62), sem as taxas aduaneiras.

O experimento foi realizado na estação meteorológica experimental do Departamento de Geografia, que está localizada à latitude 23,4º sul, longitude 46,7º oeste, e altitude 742 metros, instalada

sobre o telhado do prédio desse 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 do sistema polar em tropicalização, no período de 26/02/04 a 03/03/04. A atuação deste sistema atmosférico durante a realização do experimento foi bastante proveitosa, pois o abrigo foi exposto a dias com um forte aquecimento diurno (33°C) e um resfriamento noturno significativo (14°C). 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 serve como um bom parâmetro.

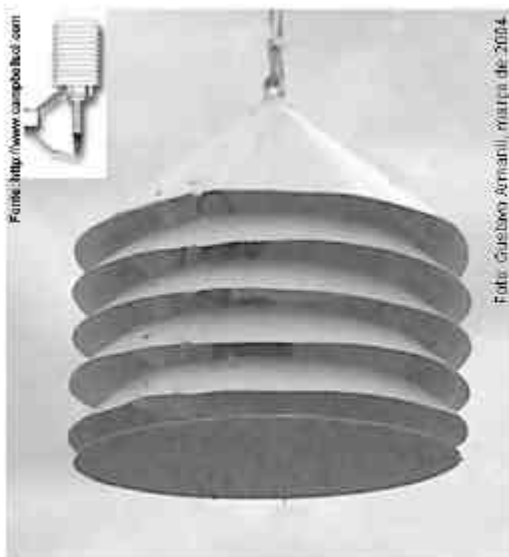


Foto 1: O abrigo meteorológico de baixo custo (Abc) em evidência, e uma representação esquemática do abrigo da Campbell acima e à esquerda.

Na estação meteorológica do Departamento de Geografia - USP está instalado um sensor Humicap 45C da Campbell a dois metros do solo e dentro do abrigo *41003 10-Plate Gill Radiation Shield*, também da Campbell e aqui designado abrigo padrão (Ap). Este sensor mede a temperatura e a umidade relativa do ar, tomadas como padrão para este estudo. Assim sendo, a temperatura do ar registrada pelo

sensor Humicap 45C será a temperatura padrão do ar (T_p), e a umidade relativa será a umidade relativa padrão do ar (U_p).

O abrigo de baixo custo (Abc) foi instalado a dois metros do solo também, ao lado do sensor Humicap 45C. Dentro do Abc foram colocados dois microrregistradores digitais da marca Onset, modelo Stow Away, sendo um para registrar a temperatura do ar, aqui 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 dois abrigos (Ap e Abc) estavam a dois metros do solo, cujos sensores registravam a cada cinco minutos a média das interrogações aos sensores. O abrigo da Campbell encontrava-se exatamente ao centro do gramado, enquanto o Abc estava deslocado 70 cm para fora do centro e a leste do abrigo Campbell.

Os registros iniciaram-se no dia 26 de fevereiro às 17:00 horas e terminaram no dia 03 de março às 16:00 horas.

Com os dados em mãos, passou-se ao tratamento e análise deles. Preliminarmente, realizou-se uma avaliação qualitativa dos registros buscando identificar discrepâncias. Nesta primeira análise não foi identificada 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.

A partir de cada hora utilizou-se de métodos quantitativos e obteve-se:

- a) máximo, mínimo, média aritmética simples, desvio médio, e desvio padrão sem distinções horárias e diárias;
- b) máximo, mínimo e média aritmética simples, por hora do dia para cada série de registros e para as seguintes diferenças entre séries: $T_{abc}-T_p$ (temperatura abrigo de baixo custo - temperatura padrão); $U_{abc}-U_p$ (umidade abrigo de baixo custo - umidade padrão);
- c) os parâmetros de regressão linear e os coeficientes de determinação para as seguintes relações: $T_{abc}=f(TP)$; $U_{abc}=f(U_p)$.

Resultados e discussão

Os resultados da série de dados de temperatura e umidade relativa serão discutidos separadamente. Os parâmetros apresentados no item **a** foram apresentados sob a forma de tabela e os dois outros itens (**b,c**) sob a forma gráfica.

É importante dizer que por questões restritas de equipamentos e financiamento o experimento foi realizado com instrumentos diferentes em cada um dos abrigos, o que pode resultar em erros que sejam decorrentes dos equipamentos e não propriamente do abrigo. Seria conveniente realizarmos o experimento com equipamentos sensores iguais em ambos os abrigos, a fim de avaliar precisamente o abrigo desenvolvido.

Temperatura do ar

A partir da tabela 1 depreende-se 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 compõe o abrigo e, por outro lado, que nos horários de maior resfriamento, por ser mais ventilado e aberto que Ap , diminui a temperatura do ar dentro do abrigo. Observando-se os valores do desvio médio em relação à média é significativamente menor para T_p que para T_{abc} . Certamente a inércia térmica do material do abrigo da Campbell é maior que da chapa de ferro do Abc , fazendo com que a temperatura não aumente e nem diminua tão rapidamente.

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	0,5
Desvio padrão	4,9	4,3	0,6

Org.: Gustavo Armani & Emerson Galvani, abril 2004.

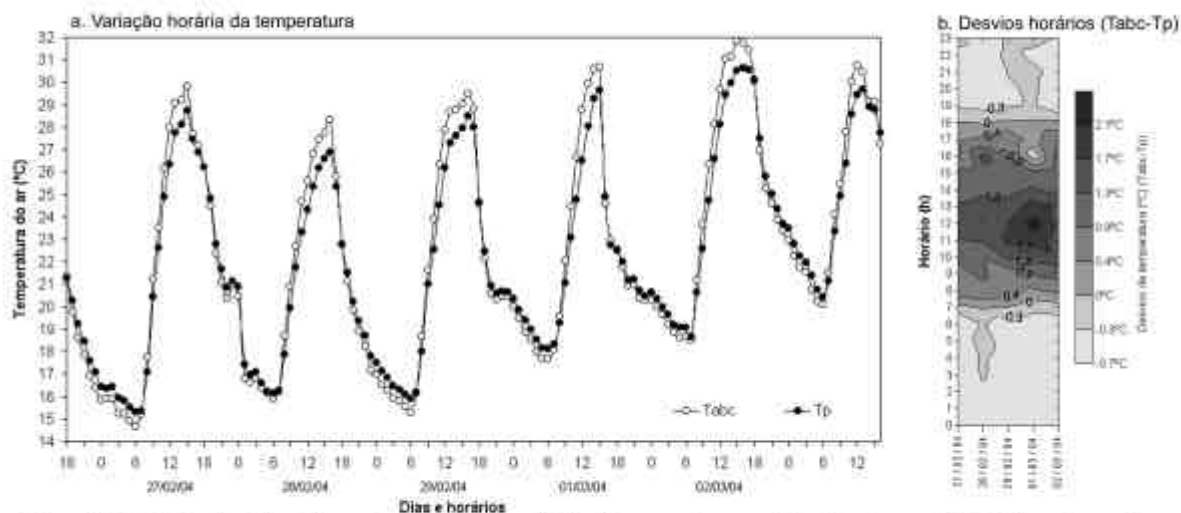


Figura 2: (a) Variação horária da temperatura padrão do ar (T_p) e da temperatura no abrigo de baixo custo (T_{bc}) durante o período do experimento (b) Desvios horários da temperatura ($T_{bc}-T_p$) durante o período do experimento.

Org.: Gustavo Arraia e Emerson Galvani, abril de 2004

A partir da figura 2, comprova-se aquilo que foi dito a partir da tabela 1, ou seja, durante os horários de maior aquecimento (às 15:00 horas), T_{bc} é maior que T_p , e nos horários de maior resfriamento (às 6:00 horas) T_p é maior que T_{bc} . As diferenças são mais significativas nos períodos mais quentes do dia. Além disso, nota-se também que T_{bc} se aquece e se resfria mais rapidamente que T_p . A Figura 2B ilustra a variação horária dos desvios de temperatura entre T_{bc} e T_p ($T_{bc}-T_p$) ao longo dos dias do experimento. Percebe-se que perto do meio-dia é que os desvios são maiores, e que no dia 01 de março de 2004, às 12:00 ocorreu a maior diferença entre T_{bc} e T_p . Entre 18:00 e 07:00 os desvios são negativos, ou seja, T_{bc} é menor que T_p .

Da análise dos resultados da figura 3 nota-se que os coeficientes de determinação entre T_{bc} 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 T_{bc} são mais baixas que em T_p , e o contrário ocorre com as máximas temperaturas ($T_{bc} > T_p$).

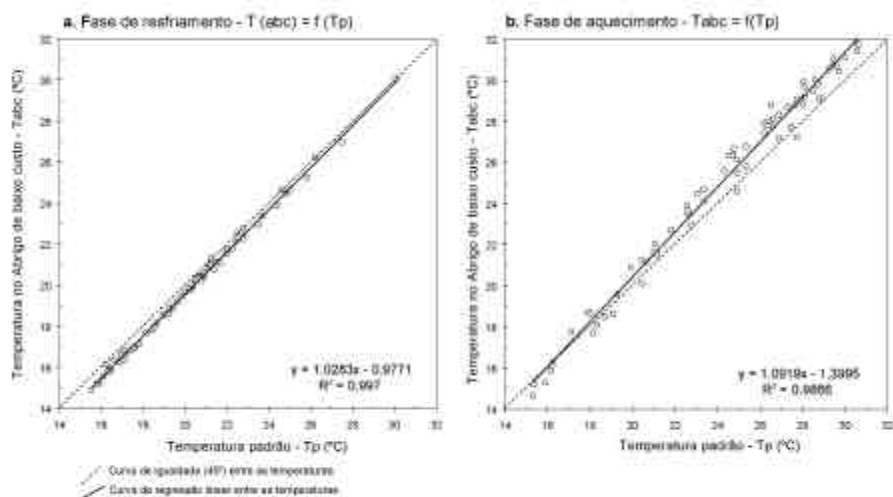


Figura 3: (a) Temperatura horária do ar no abrigo de baixo custo em função da temperatura padrão na fase de resfriamento (18:00 às 05:00); **(b)** Temperatura horária do ar no abrigo de baixo custo em função da temperatura padrão na fase de aquecimento (06:00 às 17:00)

A partir das médias de temperatura por horário de $T(abc)$ e Tp (figura 4) nota-se que as curvas são semelhantes na forma, mas discrepantes na amplitude. Nos horários de resfriamento $T(abc)$ é menor que Tp , e nos de maior aquecimento $T(abc)$ é maior que Tp . Das 19:00 horas até as 6:00 da manhã $T(abc)$ é ligeiramente menor que Tp ; as 7:00 e 18:00 $T(abc)$ é igual à Tp ; e das 8:00 às 17:00 $T(abc)$ é maior que Tp , sendo que das 11:00 às 15:00 é o período em que $T(abc)$ mais se distancia de Tp , reforçando a hipótese de que devido ao aquecimento de Abc nestes horários, a chapa de ferro galvanizado emite calor para dentro do abrigo, aquecendo o ar dentro dele.

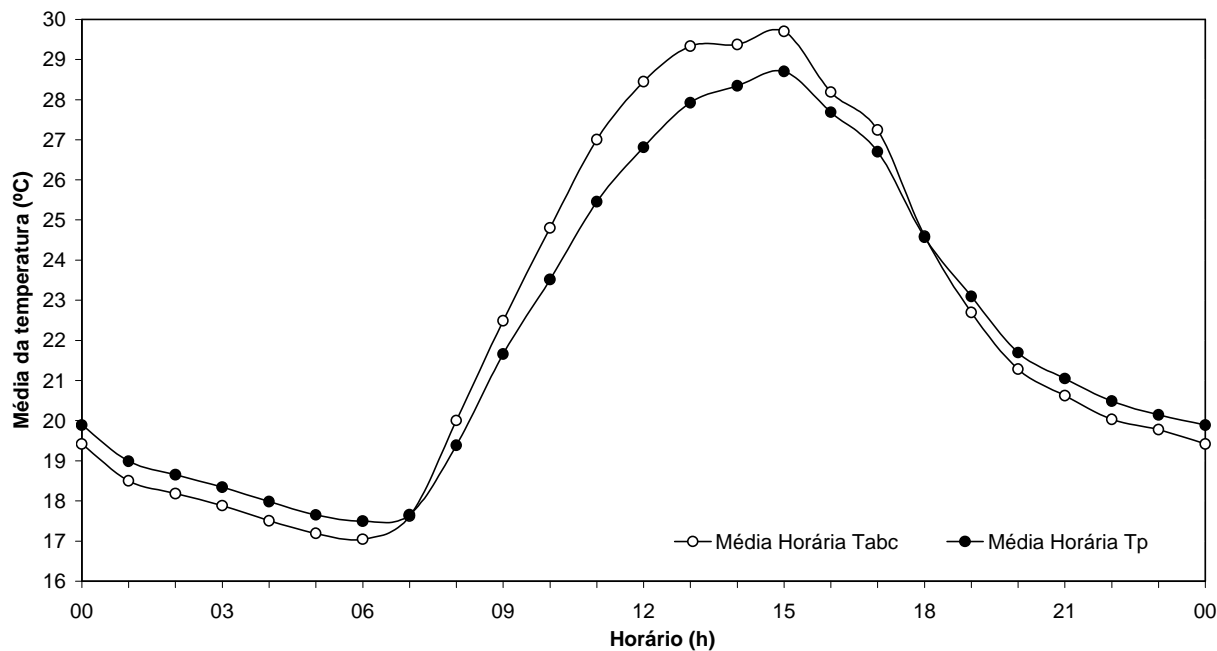


Figura 4: Média da temperatura por horário

Org.: Gustavo Armani & Emerson Galvani, abril 2004.

A figura 5 revela que das 19:00 às 6:00 horas os desvios ($T_{abc}-T_p$) permanecem praticamente constantes em $-0,5^\circ$, o que provavelmente esteja ligado às características físicas do Abc e Ap, pois que 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 dos desvios atinge valores positivos e maiores que $0,5^\circ$. Das 8:00 às 12:00 os desvios aumentam progressivamente até atingir $1,6^\circ\text{C}$ às 12:00, quando o sol está próximo ao zênite. O desvio máximo também ocorre às 12:00 horas, mas seu valor é significativamente maior, ou seja, $2,3^\circ\text{C}$ acima de T_p . A cobertura do Abc absorve mais intensamente a radiação solar incidente nos horários quando o sol está próximo ao zênite, aumentando sua temperatura, que por sua vez emitirá calor para dentro do abrigo, aquecendo o volume no seu interior, 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.

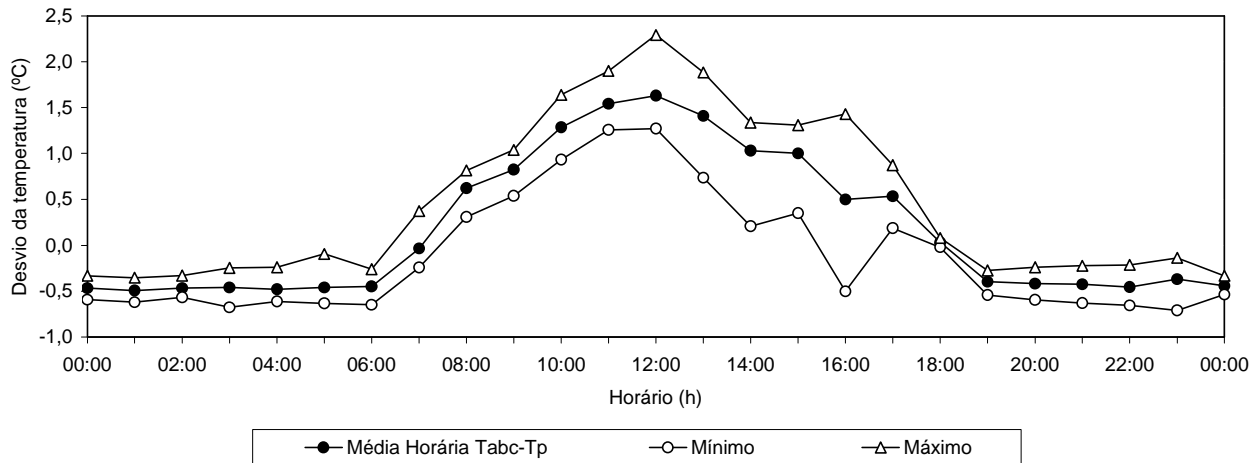


Figura 5: Desvio da temperatura no abrigo de baixo custo em relação à temperatura padrão do ar ($T_{abc}-T_p$) por horário

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 ($\pm 5\%$),

Tabela 2: Séries de umidade relativa - parâmetros estatísticos elementares

Parâmetros	Uabc (%)	Up (%)	Uabc - Up (%)
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

Org.: Gustavo Armani & Emerson Galvani, abril 2004.

Pela análise da figura 6 pode-se notar que as formas das curvas são semelhantes, mas a amplitude de Uabc é maior que Up, ou seja, durante o início da madrugada Uabc é frequentemente maior que Up e, durante a tarde, Uabc é menor que Up. Além disso, pode-se perceber que a umidade relativa do ar no Abc diminui e aumenta mais rapidamente que em Ap. Apesar destas diferenças, a figura 7 revela que o coeficiente de determinação é relativamente alto. Nota-se também pela figura 7 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 os sensores capacitivos de umidade ainda não são exatos como deveriam. Pode ser que estes erros também sejam decorrentes dos instrumentos utilizados e não propriamente do abrigo.

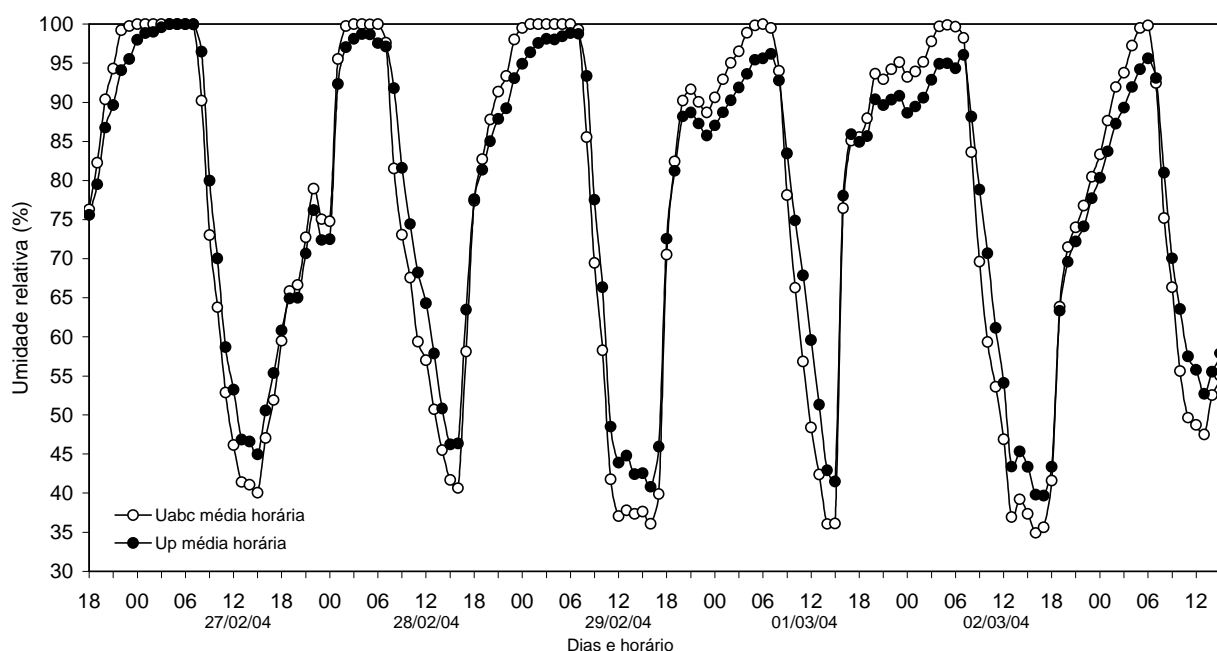


Figura 6: Variação horária da umidade relativa padrão e no abrigo de baixo custo

Org.: Gustavo Armani & Emerson Galvani,

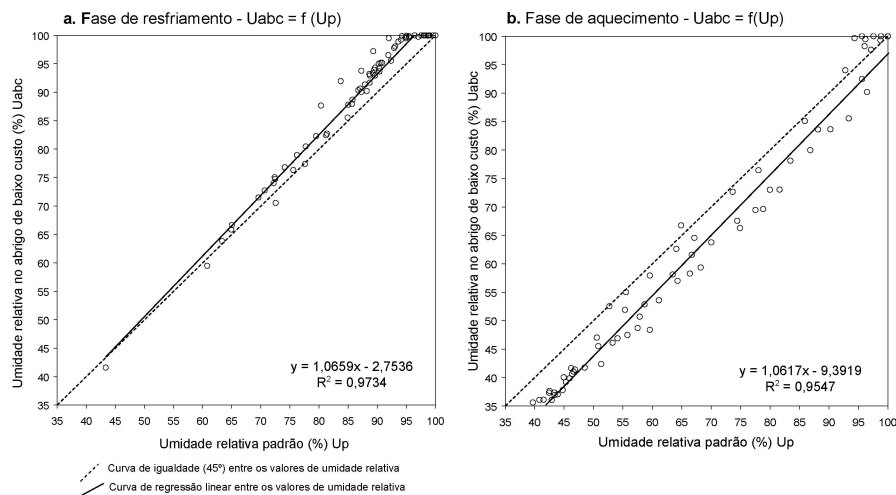


Figura 7: (a) Umidade relativa horária do ar no abrigo de baixo custo em função da umidade relativa padrão na fase de resfriamento (18:00 às 05:00); **(b)** Umidade relativa horária do ar no abrigo de baixo custo em função da umidade relativa padrão na fase de aquecimento (06:00 às 17:00)

Pelas médias da umidade relativa nos dois abrigos por horário (figura 8) pode-se dizer que, assim como aconteceu na variação temporal da umidade relativa mostrada na figura 6, as formas das curvas são semelhantes, mas a amplitude dela é maior em U_{abc} . Além disso, durante o período noturno a umidade relativa é mais elevada em U_{abc} que em U_p e a situação se inverte durante o dia. Tal fato é inversamente proporcional à temperatura, ou seja, quanto mais alta for a temperatura de uma parcela de ar, mais baixa

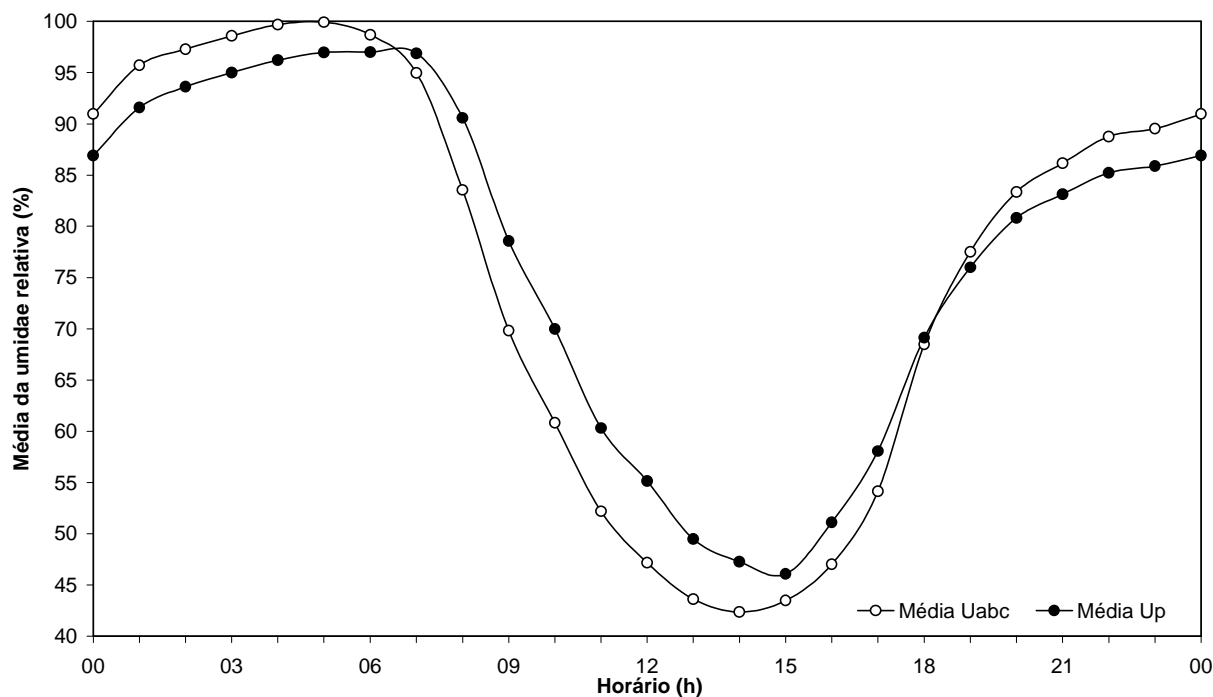


Figura 8: Média da umidade relativa por horário

Org.: Gustavo Armani & Emerson Galvani, abril 2004.

será sua umidade relativa, e vice-versa. Desta forma, é compreensível que a umidade relativa em U_{abc} tenha uma maior amplitude que em U_p , pois T_{abc} comporta-se inversamente em relação a U_{abc} . Assim, o maior

aquecimento do ar dentro do Abc, decorrente da maior irradiação de calor para dentro dele pela radiação solar absorvida pelo “telhado”, provoca uma maior redução na umidade relativa. À noite, quando o resfriamento é mais intenso no Abc, a umidade relativa é maior nele que no Ap.

Da leitura da figura 9 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, em relação aos 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

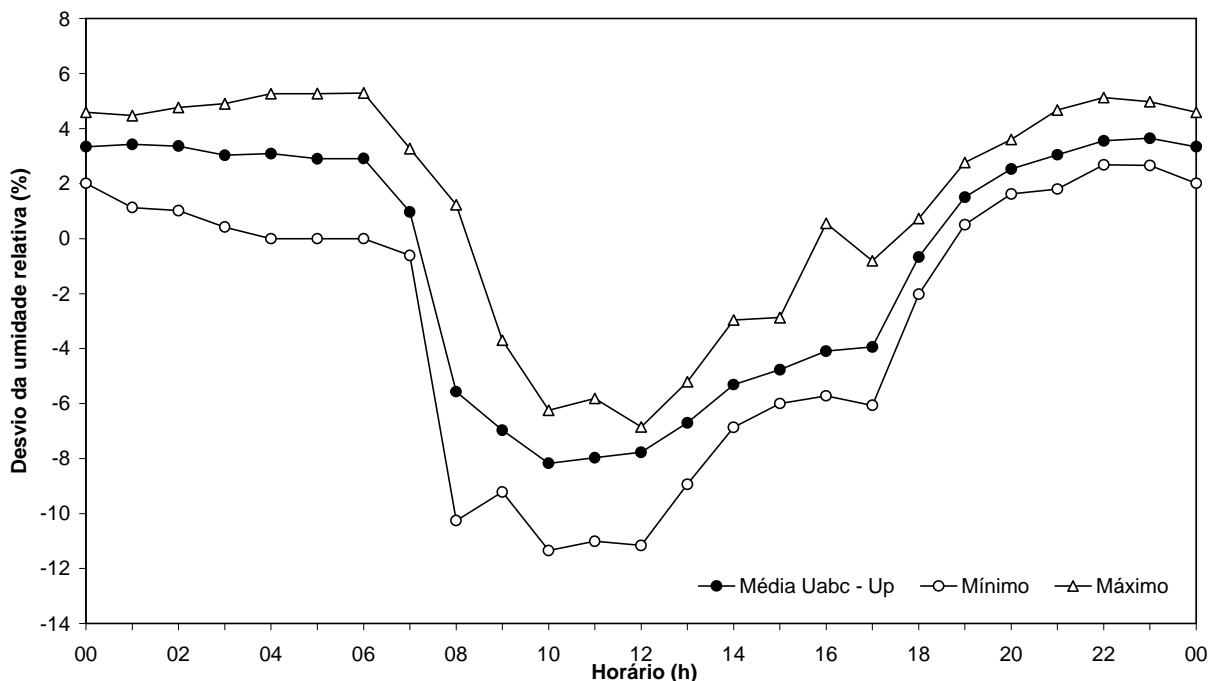


Figura 9: Desvio da umidade relativa no abrigo de baixo custo em relação à umidade padrão ($U_{abc}-U_p$) por horário

Org.: Gustavo Armani & Emerson Galvani, abril 2004.

Abc.

Considerações finais

Pelo que foi exposto anteriormente, pode-se dizer que o Abc serve como um abrigo de ventilação passiva para lugares ermos, principalmente se ele for instalado dentro de ambientes microclimáticos de florestas, pois a 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, que pode ser corrigida, talvez, colando-se sob o telhado do Abc uma ou duas camadas de algum isolante térmico, como um isopor, por exemplo. Talvez isso reduza a emissão de calor para dentro dele, 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.

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.