

## Avaliação de um psicrômetro de termopar de baixo custo

### Evaluation of a low cost thermocouple psychrometer

Antonio Ribeiro da Cunha<sup>1</sup>, João Francisco Escobedo<sup>2</sup> e Emerson Galvani<sup>3</sup>

**Resumo** – Avaliou-se um conjunto psicrométrico de termopar cobre-constantan através de correlação linear entre sensores de termopares cobre-constantan e Vaisala modelo HMP45C, nas condições de ambiente protegido e de campo, no período de 21/04 a 03/11/1999, para Botucatu, SP. As correlações encontradas apresentaram coeficientes de determinação de 0,983 e 0,973 para a temperatura do ar, e para a umidade relativa do ar de 0,956 e 0,932, respectivamente, para as condições de ambiente protegido e de campo. Isto demonstrou boa concordância dos valores medidos de temperatura e umidade relativa do ar com termopar de cobre-constantan em relação ao sensor comercial Vaisala modelo HMP45C, possibilitando a sua utilização em estudos agrometeorológicos com baixo custo.

**Palavras-chave:** psicrômetro de termopar, temperatura do ar, umidade relativa do ar.

**Abstract** - The evaluation of a set of copper-constantan thermocouple psychrometer was done through linear correlations among the sensors and the Vaisala model HMP45C, in conditions of protected environment and in the field, using data from 21/04 to 03/11/1999 in Botucatu, SP, Brazil. The determination coefficients were 0.983 and 0.973 for the air temperature, and for the air relative humidity were 0.956 and 0.932, respectively, for the conditions of protected environment and of field. This demonstrated good agreement of the measured values of air temperature and relative humidity in relation to the commercial sensor Vaisala, facilitating its use in agrometeorological studies with low cost.

**Key words:** air temperature, air relative humidity, thermocouple psychrometer.

#### Introdução

A temperatura e umidade relativa do ar são elementos meteorológicos de grande importância em estudos bioclimatológicos, existindo vários tipos de sensores para a quantificação desses elementos, desde os mais comuns (termômetros de mercúrio) até aqueles modernos (sensores resistivos). Porém, tanto os comuns quanto os de sensores resistivos, apresen-

tam desvantagens, o primeiro pela necessidade da atuação de um observador meteorológico para efetuar as leituras, e o segundo por apresentar custo elevado. Alguns pesquisadores, tais como MIDDLETON & SPILHAUS (1953), ROSENBERG (1974), BARBER & GU (1989) e BROWN & OOSTERHUIS (1992), utilizaram-se de materiais e fontes de ventilação nem sempre encontrados no mercado; e outros com materiais de baixo custo, mas com ventilação

<sup>1</sup>Engº Agrº, Doutor em Energia na Agricultura, Dep. de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu, SP, Caixa Postal 237, CEP 18603-970. E-mail: [arcunha@fca.unesp.br](mailto:arcunha@fca.unesp.br).

<sup>2</sup>Prof. Adjunto, Dep. de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu, SP. E-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br).

<sup>3</sup>Pós-Graduando em Energia na Agricultura, Depto de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu, SP.

artificial, como em GRODZKI et al. (1999) e MARIN et al. (2000).

O uso de termopares para essas medidas ganha destaque devido ao seu baixo custo, fácil construção e manuseio simples, sendo importante a avaliação de suas medidas. O objetivo deste trabalho foi de comparar as medidas de temperatura e umidade relativa do ar a partir de termopares de cobre-constantan (Cu-Co) com relação às medidas do sensor comercial Vaisala modelo HMP45C, em condições de ambiente protegido e de campo.

## Material e métodos

As medidas foram feitas no período de 21/04/99 à 03/11/99, na área experimental do Departamento de Recursos Naturais – Setor Ciências Ambientais, da Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo (latitude: 22°51'S; longitude: 48°26'W e altitude: 786m).

A área experimental constou de duas parcelas, sendo a primeira constituída por um ambiente protegido tipo arco não-climatizado e orientado no sentido NNW-SSE, constituído de estrutura de ferro galvanizado e área de 280m<sup>2</sup>, sendo 7m de largura por 40m de comprimento, com laterais a 2,2m acima do nível do solo e arco central de 4m, coberto com polietileno de baixa densidade de 120µm e com malha preta de polipropileno com redução de 50% da radiação solar nas laterais. A segunda parcela, constituída por uma área de campo orientada no mesmo sentido, ao lado e com dimensões idênticas à primeira.

O monitoramento da temperatura do ar foi realizado através de termopares de Cu-Co de bulbos seco e úmido, utilizando-se seis conjuntos psicrométricos, sendo três instalados em cultivo protegido e três em cultivo de campo, tomando-se como temperatura referência um sensor modelo HMP45C (Vaisala) a 2m, sendo um instalado no ambiente protegido e outro em condição de campo.

Esses conjuntos psicrométricos foram introduzidos em microabrigos confeccionados em acrílico com boa aeração natural e protegido contra a radiação direta e parte da difusa, conforme Figura 1. Esses microabrigos foram fixados em cano de PVC de 1,27mm de diâmetro e apoiados numa barra de cano de aço galvanizado de 5,08mm de diâmetro

introduzida perpendicularmente à superfície do solo, permitindo assim obter medidas psicrométricas desde 1 até 2m de altura dos sensores de termopar, ou seja, das temperaturas de bulbos seco e úmido acima do dossel de uma determinada cultura.

Os microabrigos de acrílico foram instalados equidistantes um do outro, em níveis 1-2 e 2-3, com uma distância de 0,50m entre eles, sendo o primeiro instalado à 1,00m de altura em relação ao nível do canteiro, o segundo a 1,5m e o terceiro a 2,0m de altura, contendo no seu interior os conjuntos psicrométricos de termopar.

De acordo com a primeira Lei Termoelétrica a força eletromotriz ( $\epsilon$ ) de um termopar depende somente da natureza dos condutores e da diferença de temperatura entre as junções de contato. Assim, a temperatura de um meio qualquer poderá ser obtida segundo a expressão:

$$\epsilon = k(T_{ar} - T_{ref}) \quad (1)$$

onde  $\epsilon$  é a força eletromotriz gerada pelos termopares em mV;  $k$  a constante termoelétrica que depende do tipo de termopar em mV.°C<sup>-1</sup>, neste caso para o termopar Cu-Co é de 41 µV.°C<sup>-1</sup>;  $T_{ar}$  a temperatura a qual deseja-se medir em °C; e  $T_{ref}$  a temperatura de referência em °C.

Através dos termopares de Cu-Co de bulbos seco e úmido foi possível obter, através de relações psicrométricas, os valores de umidade relativa do ar:

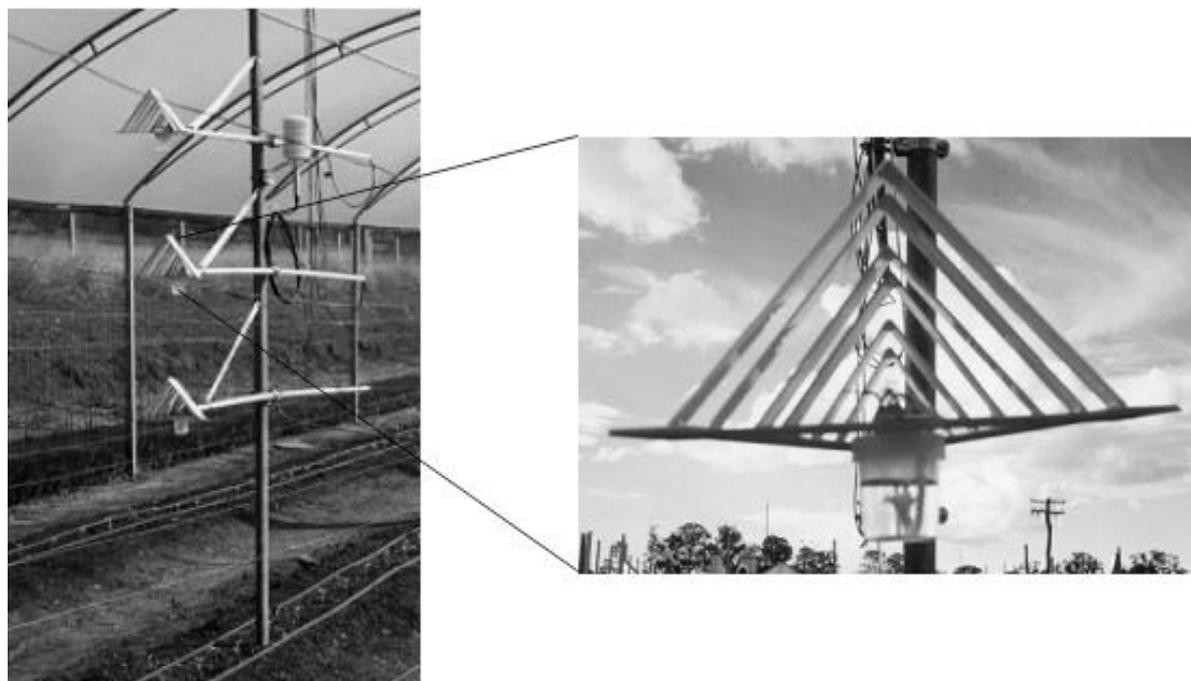
$$UR = \frac{e_a}{e_s} 100 \quad (2)$$

$$\text{onde: } e_a = e_{su} - AP(t_s - t_u) \quad (3)$$

$$e_{su} = 0,611.10^{\left(\frac{7,5t_u}{237,3+t_u}\right)} \quad (4)$$

$$e_s = 0,611.10^{\left(\frac{7,5t_s}{237,3+t_s}\right)} \quad (5)$$

sendo que UR é a umidade relativa do ar em %;  $e_a$  a pressão parcial de vapor d'água em kPa;  $e_s$  a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura de bulbo seco em kPa;  $e_{su}$  a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura de bulbo úmido em kPa; A a



**Figura 1.** Conjunto de microabrigos psicrométricos instalados na área experimental.

constante psicrométrica para junção com ventilação natural ( $80 \cdot 10^{-5} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $P$  a pressão atmosférica do local (90,66kPa);  $t_s$  a temperatura do termopar de bulbo seco em  $^\circ\text{C}$ ; e  $t_u$  a temperatura do termopar de bulbo úmido em  $^\circ\text{C}$ .

Os termopares de Cu-Co foram submetidos a testes de  $0^\circ\text{C}$  e  $100^\circ\text{C}$ , ou seja, para os pontos de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente. Os valores obtidos foram em média de  $+0,3^\circ\text{C}$  e  $99,8^\circ\text{C}$ , para o pontos de gelo fundente e água em ebulição, respectivamente.

Foram instalados dois sensores modelo HMP45C (Vaisala), um em ambiente protegido e outro em condição de campo, sendo ambos usados como referência para os termopares de Cu-Co. Esses dois sensores forneceram as medidas de temperatura do ar em  $^\circ\text{C}$  e de umidade relativa do ar em %, a 2m de altura. O sensor Vaisala possui abrigo para evitar chuva e radiação direta no sensor, mostrado também na Figura 1, no nível 3 (2m).

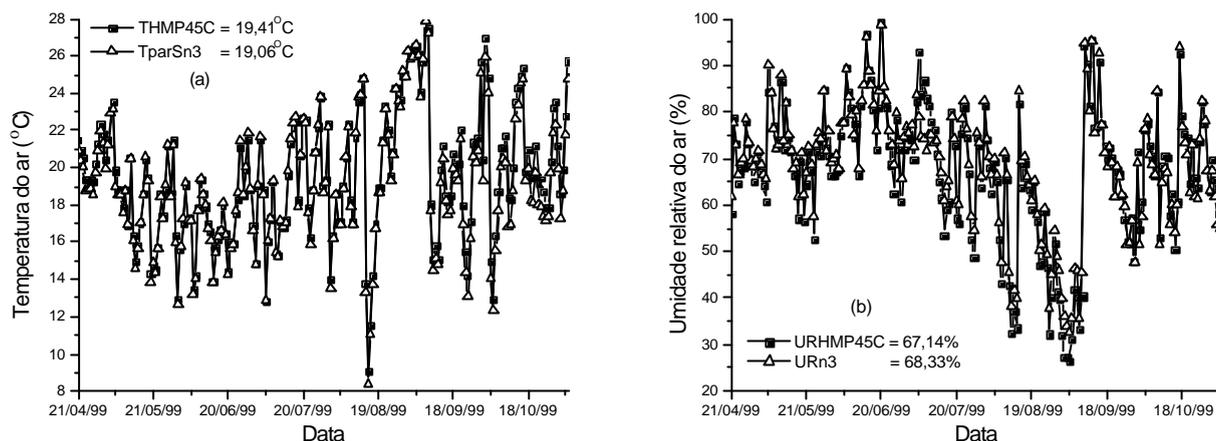
Para a coleta dos dados médios a cada 5 minutos, de temperatura e umidade relativa do ar pelo modelo HMP45C (Vaisala) e das temperaturas de bulbo seco e úmido (termopares Cu-Co), foi utilizado um “Micrologger 21X” da CAMPBELL

SCIENTIFIC, INC. (1984-96). Tanto o sensor HMP45C (Vaisala) quanto os termopares Cu-Co foram conectados aos terminais do “Micrologger 21X”, gerando sinais analógicos em  $^\circ\text{C}$  para temperatura e em % para umidade relativa.

A verificação do funcionamento do conjunto psicrométrico de termopar Cu-Co foi feita utilizando-se do nível 3 (2m), através de correlações entre os conjuntos psicrométricos de termopar Cu-Co e o sensor comercial de temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala), nas condições de ambiente protegido e de campo, utilizando-se de regressão linear simples, sendo que o grau desses ajustes foram medidos através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e por meio dos coeficientes linear (a) e angular (b), os quais traduzem a exatidão, máxima quando  $a=0$  e  $b=1$ , e a precisão, máxima quando  $R^2$  tende a 1.

## Resultados e discussão

A Figura 2 mostra os valores médios diários de temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) para os sensores de termopar Cu-Co e o modelo HMP45C (Vaisala), para o ambiente protegido. Nota-se pequenas diferenças com relação à temperatura e umidade



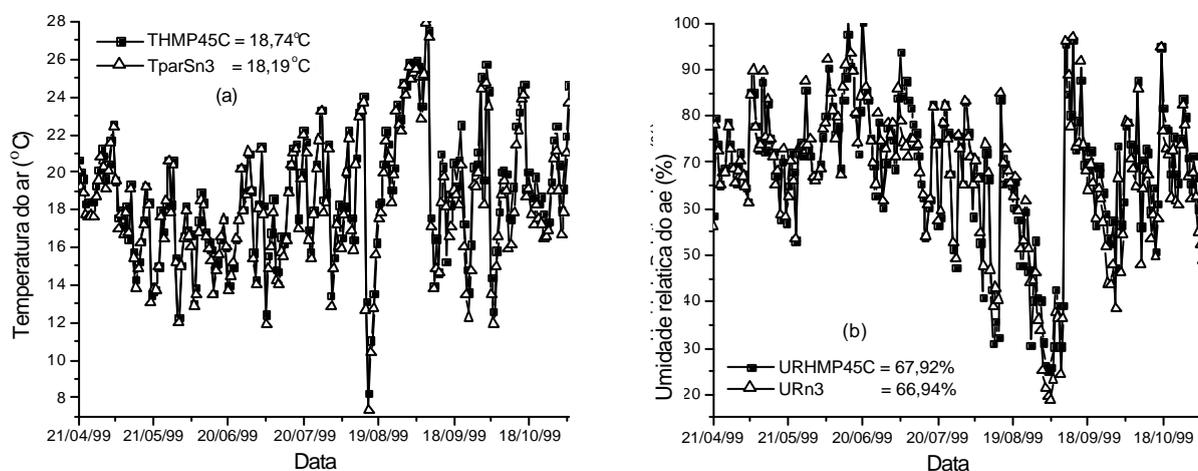
**Figura 2.** Valores médios diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) para os sensores de termopar Cu-Co e HMP45C, para o ambiente protegido. Botucatu, SP, 1999.

relativa do ar entre os sensores analisados, apresentando valores médios de temperatura do ar de 19,41°C e 19,06°C, e de umidade relativa do ar de 67,14% e 68,33%, respectivamente para os sensores Vaisala e de termopar de Cu-Co.

A Figura 3 mostra os valores médios diários de temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) para os sensores de termopar Cu-Co e o modelo HMP45C (Vaisala), para a condição de campo. Nota-se pequenas diferenças com relação à temperatura e umidade relativa do ar entre os sensores analisados, apresentando valores médios de temperatura do ar de 18,74°C

e 18,19°C, e de umidade relativa do ar de 67,92% e 66,94%, respectivamente para os sensores Vaisala e de termopar Cu-Co.

Para a verificação do funcionamento do conjunto psicrométrico de termopar de Cu-Co, nas condições de ambiente protegido e de campo, foi feita uma comparação de suas medidas obtidas com as de um sensor resistivo para a temperatura e capacitivo para a umidade relativa (Vaisala, modelo HMP45C), apesar desse sensor não ser a melhor referência para essas comparações, pois apresenta problemas em condições de elevada umidade relativa, relatados por MARIN *et al.* (2000).



**Figura 3.** Valores médios diários da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b) para os sensores de termopar Cu-Co e HMP45C, para a condição de campo. Botucatu, SP, 1999.

Para isto utilizaram-se as medidas de um conjunto psicrométrico que se encontrava numa altura de 2m (nível 3), igual a do sensor modelo HMP45C, para ambas as condições. Na Figura 4 vê-se a correlação entre os sensores utilizando-se dados do período analisado, sendo que para dados de temperatura do ar apresentou altos valores de  $R^2$ , de 0,983 para o ambiente protegido e de 0,973 para a condição de campo.

A Figura 5 apresenta a correlação entre os sensores para valores de umidade relativa do ar, com valores altos de  $R^2$ , de 0,956 para o ambiente protegido e de 0,931 para a condição de campo.

Nota-se portanto, que o conjunto psicrométrico de termopares de Cu-Co apresentou boa concordância com o sensor modelo HMP45C, para a temperatura e umidade relativa do ar, para ambas as condições, sendo importante destacar que houve uma tendência para subestimativa dos valores de temperatura do ar em torno de 1,73% e de 2,88%, para as condições de ambiente protegido e de campo, respectivamente; e uma superestimativa dos valores de umidade relativa do ar em torno de 1,37% para o ambiente protegido e uma subestimativa dos valores de umidade relativa do ar em torno de 1,03% para a condição de campo, como indica o coeficiente angular (b) de cada correlação (Figura 4 e 5). MARIN et al. (2000) comparando as medidas de um psicrômetro ventilado confeccionado com baixo custo de termopares de Cu-Co com um sensor comercial Vaisala, conseguiu boa precisão das medidas, com coeficiente de correlação de 0,98, apresentando dados de umidade relativa do ar mais coerentes, princi-

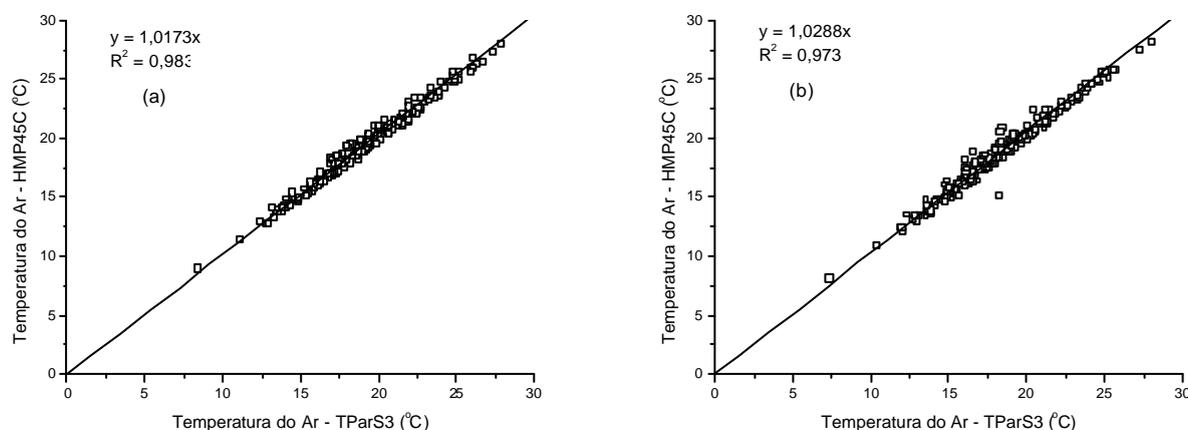
palmente em condições extremas de umidade. Os autores GRODZKI et al. (1999) recomendam o uso de psicrômetro ventilado confeccionado com baixo custo de termopares de Cu-Co em medidas micrometeorológicas de fluxo de calor sensível com bom nível de precisão.

## Conclusões

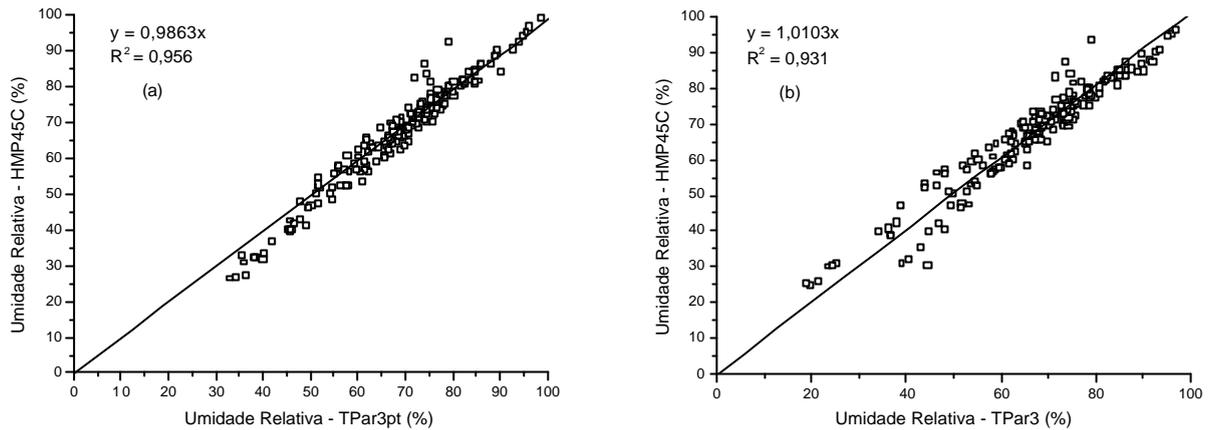
O conjunto psicrométrico de termopares de cobre-constantan, tanto em condições de ambiente protegido e de campo, apresenta boa concordância dos valores medidos de temperatura e umidade relativa do ar em relação ao sensor comercial Vaisala, possibilitando a sua utilização em estudos agrometeorológicos com baixo custo.

## Referências bibliográficas

- CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **21X Micrologger: Operator's manual**. Revision: 3/96. Logan, Utah : Copyright©, 1984-1996.
- BARBER, E.M., GU, D.Q. Performance of an aspirated psychrometer and three hygrometers in livestock barns. **Applied Engineering in Agriculture**, New York, v. 5, n. 4, p. 595-599, 1989.
- BROWN, R.W., OOSTERHUIS, D.M. Measuring plant and soil water potentials with thermocouple psychrometers: some concerns. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 78-86, 1992.
- GRODZKI, L., DIAS, N.L.C., CARAMORI, P. Psicrômetro ventilado para medidas micrometeorológicas de campo. In: CONGRESSO



**Figura 4.** Correlação entre os valores de temperatura do ar obtidos a partir do conjunto psicrométrico de termopar (TparS3) e do sensor HMP45C, para as condições de ambiente protegido (a) e de campo (b). Botucatu, SP, 1999.



**Figura 5.** Correlação entre os valores de umidade relativa do ar obtidos a partir do conjunto psicrométrico de termopar e do sensor HMP45C, para as condições de ambiente protegido (a) e de campo (b). Botucatu, SP, 1999.

BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **CD-ROM..** Florianópolis : Epagri, 1999.

MARIN, F.R., ANGELOCCI, L.R., VILLA NOVA, N.A. et al. Construção de psicômetro de termopar de baixo custo e verificação de seu desempenho em condições de campo. In: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEREOLÓGÍA, 8., LA AGROME-

TEREOLOGÍA HACIA EL SIGLO, 21., 2000, Mendoza. **CD-ROM..** Mendoza, Argentina : Asociación Argentina de Agrometeorologia, 2000.

MIDDLETON, W.E.K., SPILHAUS, A.F. The measurement of atmospheric humidity. In: **Meteorological Instruments.** Toronto : University of Toronto, 1953. p.105-111.

ROSENBERG, N.J. Atmospheric humidity. In: John Wiley & Sons, Inc. **Microclimate.** New York, 1974. p. 139-143.

