

AVALIAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA CONFEÇÃO DO TERMÔMETRO DE GLOBO¹

CECÍLIA DE FÁTIMA SOUZA²

ILDA DE FÁTIMA FERREIRA TINÔCO³

FERNANDO DA COSTA BAÊTA⁴

WILLIAMS PINTO MARQUES FERREIRA⁵

ROGÉRIO SABINO DA SILVA⁶

RESUMO – A radiação é um componente significativo do ambiente térmico, exercendo influência acentuada no processo de transferência de calor animal-ambiente. A avaliação completa do conforto animal depende, em grande parte, da quantificação desse fator. Para medir as grandezas envolvidas nessa quantificação, vários instrumentos específicos são utilizados, dentre os quais se destaca o termômetro de globo negro, que constitui forma prática e eficiente de isolar a temperatura radiante média de outros fatores do ambiente térmico. O termômetro de globo negro padrão consiste de uma esfera oca de cobre, com diâmetro 0,15 m e espessura 0,5 mm, pintada externamente com tinta preta fosca, no interior da qual é adaptado um elemento sensor de temperatura (termopar ou termômetro simples). A temperatura de globo negro, medida por meio deste instrumento, representa, num único valor, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, a partir do qual pode-se concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente. Desde o início de sua utilização até o presente, o termô-

metro de globo negro tem sofrido variações no que diz respeito à forma, tamanho e material de confecção, em virtude, principalmente, do preço do globo de cobre utilizado no instrumento padrão. Dessa forma, com o estudo presente, objetivou-se avaliar as características físicas do termômetro de globo, tais como o diâmetro do globo e o material utilizado na sua confecção, sendo analisados o cobre, o alumínio, o latão e o plástico. Buscou-se ainda verificar as implicações das variações dessas características sobre o resultado final, ou seja, a temperatura de globo negro, em comparação com o do instrumento padrão, visando a obter parâmetros que permitissem a indicação, para o agricultor, de um material mais barato do que o cobre e que pudesse ser utilizado com o mesmo nível de eficiência. Além de apresentar preço mais acessível com relação ao de cobre, o globo de plástico mostrou correlação satisfatória com o de cobre, com base no Índice de Temperatura de Globo e Umidade e na Carga Térmica de Radiação, índices de conforto térmico usados como parâmetros comparativos.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Bioclimatologia, globo-termômetro, radiação, índice térmico.

EVALUATION OF THE ALTERNATIVE MATERIALS TO MAKE A GLOBE THERMOMETER

ABSTRACT – The radiation is a significant component of the thermal environment, exercising accentuated influence in the process of transfer of animal-ambient heat. The complete evaluation of the animal comfort

depends, in a large part, of the quantification of that factor. To measure the greatness involved in that quantification, several specific instruments are used, among which stands out the black

1. Pesquisa Financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.

2. Professora Assistente IV, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 36571.000 – Viçosa, MG. Doutoranda, Zootecnia, Produção Animal, FCAV, UNESP, Jaboticabal-SP, e-mail: cfsouza@mail.ufv.br

3. Professora Adjunto I, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, iftinoco@mail.ufv.br

4. Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, fcbeta@mail.ufv.br

5. Meteorologista, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFV, cfsouza@mail.ufv.br

6. Engenheiro Agrícola.

globe thermometer, which constitutes practical and efficient form of isolating the average radiant temperature of other factors of the thermal environment. The thermometer of standard black globe consists of a hollow sphere of copper, with diameter 0,15 m and thickness 0,5 mm, painted externally with opaque black ink, inside which a temperature sensor element is adapted (thermocouple or simple thermometer). The black globe temperature, measured through this instrument, represents, in an only value, the combined effects of the radiant energy, temperature of the air and speed of the air, starting from which it can end on himself the level of comfort of an ambient die. Since the beginning of your use to the present, the black globe thermometer has been suffering variations in respect the form, size and making material in virtue, mainly, of the price of the copper globe used in the standard instrument. In that way, the present study had as

objective evaluates the physics characteristics of the globe thermometer, such as the diameter of the globe and the material used in your making, being analyzed the copper, the aluminum, the brass and the plastic. It was still looked for to verify the implications of the variations of those characteristics on the final result, in other words, the black globe temperature, in comparison with the one of the standard instrument, seeking to obtain parameters to allow the indication, for the farmer, of a cheaper material than the copper, that could be used with the same efficiency level. Besides presenting more accessible price with relationship to the copper, the globe of plastic showed satisfactory correlation with the one of copper, based in the Black Globe Temperature and Moisture Index and in the Radiant Thermal Charge, indexes of thermal comfort used as comparative parameters.

INDEX TERMS: Bioclimatology; globe-thermometer; radiation; thermal index.

INTRODUÇÃO

Atualmente, vários pesquisadores têm usado esferas metálicas pintadas de preto, como receptores para quantificação da carga radiante incidente sobre animais e plantas, em estudos referentes ao nível de conforto térmico, sob as mais diversas situações ambientais, embora o início da utilização desse instrumento date dos anos 30.

Bedford & Warner (1934), por exemplo, usaram termômetros de globo negro em estudos sobre aquecimento e ventilação em habitações.

Potter & Baker, citados por Bond & Kelly (1955), fizeram um estudo em 1948 sobre aquecimento e resfriamento de ambientes, com o qual concluíram que a pele do ser humano sente a ação dos fatores ambientais da mesma forma que um globo metálico de seis polegadas de diâmetro, pintado externamente de preto, considerando-se proporções similares entre área da superfície corporal e volume corporal.

Bond & Kelly (1955) conduziram experimento na Califórnia com objetivo de determinar a carga de radiação sob dois tipos idênticos de cobertura, utilizando em uma o globo negro e na outra, um radiômetro, ambos a 1,50 m acima do solo. Concluíram que o globo negro foi tão preciso quanto o radiômetro.

O globo negro é um meio prático de se quantificar os componentes da energia radiante do ambiente, a partir da chamada temperatura de globo negro. A temperatura de globo negro é obtida pelo termômetro de globo

negro, instrumento de fácil confecção, que consiste em uma esfera oca, de cobre, com aproximadamente 0,15 m de diâmetro e 0,0005 m de espessura, pintada externamente com duas camadas de tinta preta fosca para maximizar a absorção de radiação solar; em seu interior é instalado um termopar ou termômetro, para a leitura da temperatura (Campos, 1986).

O termômetro de globo negro indica, por meio do valor lido de temperatura, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, três importantes fatores que afetam o conforto térmico. Constitui meio prático e barato de separar e determinar quantitativamente a componente energia radiante do ambiente, de uso já consolidado nas pesquisas atuais (Bond & Kelly, 1955).

Estudos referentes à obtenção de parâmetros de conforto térmico ambiental para animais foram iniciados nos anos 60. As primeiras pesquisas foram conduzidas com bovinos e suínos e desde então, considerou-se que, para estudos do ambiente animal, o termômetro de globo negro deveria ser instalado à altura aproximada do centro de massa do animal considerado.

Pereira *et al.* (1967) realizaram estudos para buscar indicações de alternativas para substituição do globo de cobre na confecção do globo-termômetro. Obtiveram boas conclusões sobre a utilização da bola de pingue-pongue.

Kuehn *et al.* (1970) estudaram a teoria do globo negro, isto é, a troca de calor na superfície de um globo-

termômetro em equilíbrio com seu ambiente. Derivaram uma fórmula para relacionar o diâmetro e a emissividade de um globo com a troca de calor de uma espécie específica de animal com seu ambiente, considerando-a análoga ao globo.

Assim, estudos referentes às trocas térmicas animal-ambiente e, portanto, ao conforto térmico, envolvem, em sua maioria, medidas da temperatura de globo negro e determinações conseqüentes de índices que expressem o grau de conforto.

Os índices de conforto térmico mais comumente utilizados são o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica Radiante (CTR) (Souza, 1992).

Buffington *et al.* (1981) afirmam que o índice mais preciso para se medir o conforto térmico para animais é o ITGU, que é calculado a partir da temperatura de globo negro. O valor absoluto do ITGU engloba os efeitos da temperatura de bulbo seco, da velocidade do ar, da umidade e da radiação.

De acordo com Campos (1986), o ITGU pode ser calculado pela equação:

$$ITGU = tgn + 0,36 \times tpo - 330,08 \quad (\text{eq. 01})$$

em que

ITGU = Índice de Temperatura de Globo e Umidade;

tgn = Temperatura de globo negro, K; e

tpo = Temperatura do ponto de orvalho, K.

Atualmente, existem limites de ITGU definidos para diversas espécies de animais, especialmente os de interesse zootécnico, mas, já em 1976, o National Weather Service – USA - concluiu, após treze anos de estudo, que valores de ITGU até 74 definem situação de conforto para bovinos; de 74 a 78, situação de alerta; de 79 a 84, situação perigosa, e acima de 84, emergência (Baêta, 1985).

Apesar da eficiência do ITGU na caracterização do ambiente térmico, Esmay (1978) fez referência a outro indicador de conforto térmico denominado Carga Térmica de Radiação (CTR), com base no fato de que a radiação constitui um dos mais importantes fatores térmicos na definição do bem-estar do animal.

De acordo com Bond & Kelly (1955), a CTR quantifica a radiação total recebida pelo animal de todo o espaço circundante, podendo também ser calculada a partir da leitura de temperatura de globo negro.

Como indicado por Campos (1986), a CTR pode ser calculada pela equação de Stefan-Boltzmann:

$$CTR = a \times (TRM)^4 \quad (\text{eq. 02})$$

em que

CTR = Carga Térmica de Radiação, W.m⁻²;

α = Constante de Stefan Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8}$ W.m⁻².K⁻⁴;

e

TRM = Temperatura Radiante Média, K.

A temperatura Radiante Média (TRM) é a temperatura ambiente de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra para eliminar o efeito de reflexão, com a qual o corpo (globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto a do ambiente atual considerado (Bond & Kelly, 1955; Campos, 1986). A TRM pode ser determinada pela seguinte equação:

$$TRM = 100 \left[2,51 \times \sqrt{v} (tgn - tbs) + \left(\frac{tgn}{100} \right)^4 \right]^{1/4} \quad (\text{eq. 03})$$

em que

TRM = Temperatura Radiante Média, K;

v = Velocidade do vento, m.s⁻¹, e

tbs = Temperatura de bulbo seco (do ar), K.

Com base no que foi exposto, tendo em vista a utilização em grande escala do termômetro de globo negro nos experimentos de ambiência, faz-se necessário o empenho de pesquisadores que, com base em resultados de pesquisas bem elaboradas e conduzidas, sejam capazes de indicar alternativas para substituição do material padrão (cobre) utilizado na confecção do equipamento, parâmetro que altera de maneira significativa o custo total de montagem experimental.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho fazer uma análise comparativa de valores de ITGU e CTR, calculados a partir de dados de temperatura de globo negro, obtidas de globo-termômetros confeccionados com globos de alumínio, latão e plástico, com relação aos obtidos com o globo-termômetro confeccionado com globo de cobre, considerado padrão, buscando indicar materiais alternativos para confecção do instrumento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências da Área Experimental de Construções Rurais e Ambiente do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa - M.G., a qual se localiza na latitude de 20° 45' Sul e longitude 42° 52' Oeste, com altitude de 657 m. O clima da região, de

acordo com a classificação de Köppen, é Cwa (temperado, chuvoso, com estação seca no inverno e verão quente). Segundo a classificação de Thornthwaite, é B_2rB_3a' (úmido, com pequena ou nenhuma deficiência de água, mesotérmico).

Os períodos considerados para a coleta de dados foram: 18 de dezembro de 1998; 06, 09 e 16 de janeiro de 1999; 18, 20, 29, 30 e 31 de março de 1999.

Foram utilizadas duas unidades (repetições) de cada um dos globo-termômetros confeccionados com os seguintes tipos de globo (tratamentos): **1-** de plástico do tipo cloreto de polivinila (PVC), oco, com 0,115 m de diâmetro e espessura 0,0005 m (**PM**); **2-** de plástico do tipo cloreto de polivinila (PVC), oco, com 0,15 m de diâmetro e espessura 0,0005 m (**PG**); **3-** de plástico do tipo cloreto de polivinila (PVC), oco, com 0,036 m de diâmetro e espessura 0,0005 m (**PP**), ou seja, bola de pingue-pongue; **4-** de alumínio, oco, com 0,13 m de diâmetro e espessura 0,0005 m (**AL**); **5-** de cobre, oco, com 0,135 m de diâmetro e espessura 0,0005 m (**CB**), sendo este a testemunha; **6-** de latão, oco, com 0,09 m de diâmetro e espessura 0,0005 m (**LT**).

tórias, na altura de 0,75 m, a qual corresponde a altura média da maioria dos animais domésticos produtivos (Figura 1).

Os dados coletados foram: temperatura do ar, temperatura de globo negro, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar. Tais coletas foram feitas no período de 6 as 18 horas, a cada duas horas nos dias mencionados.

A partir dos dados coletados, utilizando o aplicativo CITER, desenvolvido por Souza *et al.* (1998) e, com base nas equações 1, 2 e 3, foram calculados o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica de Radiação (CTR) para todos os horários de todos os dias do período considerado.

A análise estatística foi feita com base nos resultados médios horários do Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e da Carga Térmica Radiante (CTR), calculados por meio das equações 1 e 2, para cada um dos tratamentos. Os resultados são mostrados nos Quadros 1 e 2.

FIGURA 1 – Vista geral da distribuição dos globos na área experimental.

QUADRO 1 – Valores médios horários de ITGU obtidos a partir da tgn lida em 6 tipos diferentes de globo-termômetro (tratamentos), cada um com repetições de leituras em 7 horários diferentes.

Horários	Tratamentos					
	AL	LT	PG	PP	PM	CB
6	70,10	73,55	66,95	66,55	66,90	67,00



8	82,30	85,50	83,70	84,40	83,25	84,00
10	91,63	92,80	91,65	86,00	90,00	91,30
12	89,79	93,05	92,20	86,85	90,75	91,60
14	94,50	94,10	94,60	88,90	93,30	93,65
16	92,48	92,65	92,45	86,60	91,70	91,85
18	77,43	77,80	76,70	75,10	76,20	76,20

QUADRO 2 – Valores médios horários de CTR ($W.m^{-2}$) obtidos à partir da tgn lida em 6 tipos diferentes de globo-termômetro (tratamentos), cada um com repetições de leituras em 7 horários diferentes.

Horários	Tratamentos					
	AL	LT	PG	PP	PM	CB
6	464,54	465,60	443,70	433,55	441,85	450,80
8	612,54	599,55	629,10	547,15	614,70	629,90
10	754,03	744,75	758,50	625,00	717,75	749,40
12	714,83	701,60	755,15	629,80	721,00	739,30
14	799,90	832,15	809,10	673,65	776,40	785,35
16	757,03	760,00	761,95	626,05	740,30	749,60
18	522,13	539,05	516,25	479,40	505,05	504,35

Compreendeu basicamente a determinação da equação de regressão para definição de fatores de correção dos valores de ITGU e CTR para cada um dos tratamentos, com relação ao testemunha.

Foram também traçados resultados gráficos utilizados como suporte na elaboração das conclusões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações de regressão do ITGU e da CTR para todos os tratamentos estudados estão nos Quadros 3 e 4.

QUADRO 3 – Equações de regressão para valores médios do Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), determinados a partir dos valores da tgn, obtida com os diferentes globo-termômetros utilizados no experimento, com relação ao confeccionado com globo de cobre.

Tratamentos	Equações	R ²
-------------	----------	----------------

AL	$Y = 9,24992 + 0,89570 * X$	0,97808
LT	$Y = 16,8661 + 0,82503 * X$	0,98356
PG	$Y = -1,73187 + 1,0248 * X$	0,99889
PP	$Y = 12,9651 + 0,80531 * X$	0,99644
PM	$Y = 1,60198 + 0,97529 * X$	0,99826

QUADRO 4 – Equações de regressão para valores médios de Carga Térmica de Radiação (CTR), determinados a partir dos valores da tgn, obtida para os globo-termômetros utilizados no experimento, com relação ao confeccionado com globo de cobre.

Tratamentos	Equações	R ²
AL	$Y = 27,7645 + 0,96137 * X$	0,98508
LT	$Y = 30,3294 + 0,96131 * X$	0,94490
PG	$Y = -27,1443 + 1,05534 * X$	0,99739
PP	$Y = 135,938 + 0,66462 * X$	0,98893
PM	$Y = 12,5458 + 0,96106 * X$	0,99543

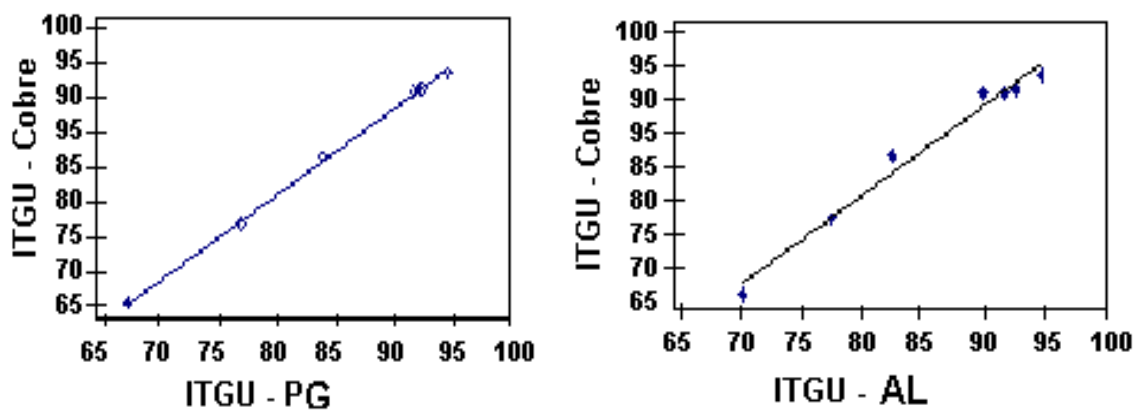


FIGURA 2 – Gráfico de correlação do ITGU para os tratamentos PG e AL comparados com o globo-termômetro confeccionado com o globo de cobre.

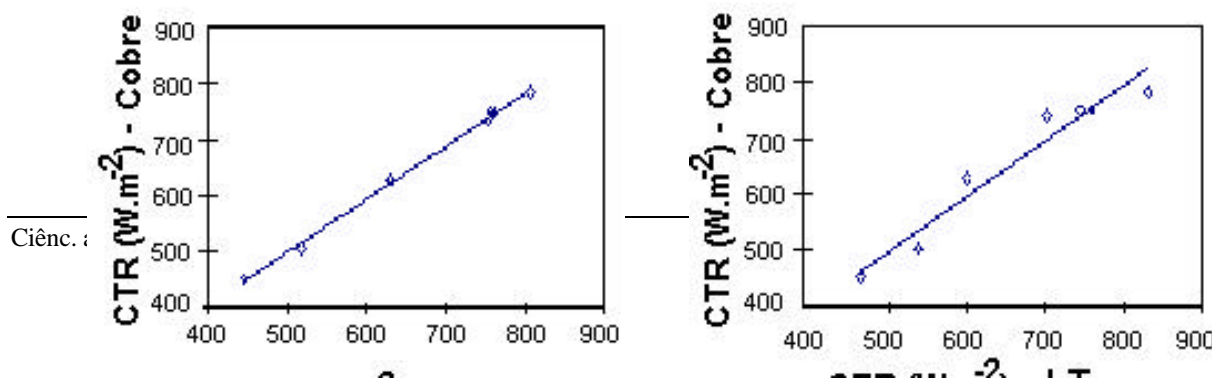


FIGURA 3 – Gráfico de correlação da CTR para os tratamentos PG e LT comparados com o globo-termômetro confeccionado com o globo de cobre.

Analisando-se os resultados apresentados, observa-se o melhor desempenho para o tratamento PG, que apresentou o maior coeficiente de correlação, tanto para o ITGU, quanto para a CTR, com R^2 igual a 0,99889 e 0,99739, respectivamente. Observa-se, da mesma forma, que os tratamentos PM e PP também foram eficientes, o que indica que esses materiais apresentam características físicas semelhantes às do testemunha, com relação à absorção da radiação solar. Observa-se, ainda, que o tratamento LT apresentou os menores valores de R^2 para os dois índices considerados. Além disso, este último representa uma alternativa mais cara, comparada aos globos de plástico, como pode ser observado no Quadro 5.

CONCLUSÕES

Para as condições em que o trabalho foi conduzido e pelos resultados obtidos, concluiu-se que:

Os tratamentos PG e PM representam opções satisfatórias para substituição do tratamento de cobre (CB) na confecção do termômetro de globo negro utilizado em grande escala na montagem de experimentos da área de Ambiência Animal e Vegetal.

b) Os tratamentos PP apresentaram bons coeficientes de correlação e constituem alternativa cujo custo é acessível quando comparado aos outros, apesar de se tratar de material oficial de esporte. Portanto, a substituição do de cobre por este é possível, tendo em vista seu desempenho na absorção da radiação solar.

QUADRO 5 – Preços dos globos (tratamentos) utilizados na confecção dos globo-termômetros comparados no experimento.

Especificação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário(US\$)
PG	ud	1	10,0
PM	ud	1	5,0
PP	ud	1	0,5
AL	ud	1	20,0
CB	ud	1	18,0
LT	ud	1	15,0

US\$ 1,00 = R\$1,985

c) Os tratamentos AL e LT representam as opções cujo custo é mais elevado, quando comparado aos anteriores, podendo ser utilizados em último caso, pois os resultados analisados referentes à absorção da radiação solar também foram satisfatórios.

BAÊTA, F.C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season.** 1985. 218 f. Thesis (Ph.D.) - University of Missouri, Columbia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ciênc. agrotec., Lavras, v.26, n.1, p.157-164, jan./fev., 2002

BEDFORD, T.; WARNER, C. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. **Journal of Hygiene**, v.34, n.3, p.458-473, Mar. 1934.

BOND, T.E.; KELLY, C.F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, California, v.36, n.5, p.251-255, Apr. 1955.

BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe humidity index as a comfort equation for dairy cows. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, Jan. 1981.

CAMPOS, A.T. **Determinação dos índices de conforto térmico e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa - M.G.** 1986. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ESMAY, M.L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI, 1978. 358 p. (Environmental engineering in agriculture and food series).

KUEHN, L.A.; STUBBS, R.A.; WEAVER, R.S. Theory of the globe thermometer. **Journal of Applied Physiology**, Ontario, v.29, n.5, p.750-757, Nov. 1970.

PEREIRA, N.; BOND, T.E.; MORRISON, S.R. "Ping-pong" ball into black-globe thermometer. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.10, n.48, p.341-342, June 1967.

SOUZA, C.F. **Eficiência de diferentes tipos de bezerreiros, quanto ao conforto térmico, na primavera e no verão em Viçosa - M.G.** 1992. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, C.F.; FERREIRA, W.P.M.; MILL, D.R.; SILVA, J.M. CITER - aplicativo para cálculo dos índices de ambiente térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998. p.181-183.