



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1086-1092>

Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura

Thaisa A. Carneiro¹, Cristiane Guiselini², Héilton Pandorfi², José P. Lopes Neto³, Vivian Loges⁴ & Ricardo F. L. de Souza⁵

¹ Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE. E-mail: thaisacarneiro@yahoo.com.br

² Departamento de Engenharia Agrícola/Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE. E-mail: cguiseli@hotmail.com; pandorfi@deagri.ufrpe.br (Autora correspondente)

³ Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola/Centro de Tecnologia e Recursos Naturais/Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. E-mail: lopesneto@deag.ufcg.edu.br

⁴ Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: vloges@yahoo.com

⁵ PET AgroEnergia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. E-mail: shimidy@hotmail.com

Palavras-chave:

ambiência
climatização natural
conforto térmico
termografia
telhado verde

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o conforto térmico proporcionado por diferentes tipos de cobertura, com base nas análises térmicas e nos índices de conforto térmico humano e zootécnico. A pesquisa foi realizada no período de 20 de março a 29 de maio de 2014, na UFRPE, no município de Recife, PE. Os tipos de cobertura analisados foram: telha de fibrocimento (Tfib), telha reciclada (Trec), telhado verde, grama, *Zoysia japonica* (Tgra) e telhado verde, amendoim, *Arachis repens* (Tame), com quatro repetições cada um; as variáveis meteorológicas foram registradas interna e externamente aos modelos. A análise térmica das coberturas foi realizada por meio de imagens termográficas e o conforto térmico das instalações foi obtido por meio dos índices de conforto, carga térmica radiante, índice de temperatura de globo negro e umidade, índice de conforto humano, índice de temperatura e umidade e temperatura efetiva. Os telhados verdes (Tame; Tgra) reduziram a temperatura da superfície interna das coberturas (5,3 e 4,4 °C), promoveram maior atenuação da temperatura dos ambientes (1,37 e 1,35 °C) e, conseqüentemente, promoveram também maior conforto térmico, em comparação com a Tfib e Trec.

Key words:

environment
natural air conditioning
thermal comfort
thermography
green roof

Primary thermal conditioning of rural installations by means of different types of cover

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the thermal comfort provided by different types of coverage, based on thermal analysis and levels of human and animal thermal comfort. The research was conducted from March 20 to May 29, 2014, in UFRPE in Recife, PE. The types of coverage analysed were: fiber cement tile (Tfib), recycled tile (Trec), green roof, grass, *Zoysia japonica* (Tgra) and green roof, peanuts, *Arachis repens* (Tame), with four replications. The meteorological variables were recorded internally and externally for the models. Thermal analysis of the covers was performed using thermographic images and the thermal comfort of facility was obtained through the level of comfort, radiant thermal load, black globe temperature and humidity index, human comfort index, temperature and humidity index and effective temperature. Green roofs (Tame; Tgra) reduced the temperature of the inner surface of the panels (5.3 and 4.4 °C), promoted a higher attenuation of the environment temperature (1.37 and 1.35 °C) and therefore, promoted higher thermal comfort in comparison with Tfib and Trec.



INTRODUÇÃO

Nos trópicos o maior problema da ocupação de instalações agrícolas se relaciona com a inadequação térmica, proporcionada pela ação dos elementos meteorológicos, dissipação de energia por máquinas, equipamentos, animais e pessoas que desenvolvem atividades nessas estruturas prediais, associadas às altas temperaturas, elevada umidade relativa e à baixa velocidade do ar, o que reduz a capacidade de transferência de energia e aumenta o estresse térmico de seus ocupantes (Torres Júnior et al., 2008).

A avaliação do conforto térmico e da qualidade do ar nas instalações agrícolas está associada à eficiência dos sistemas de controle ambiental, direcionados à saúde e ao bem-estar dos animais confinados e dos trabalhadores que desenvolvem suas atividades por um período de até 8 h por dia nesses ambientes (Moura et al., 2010).

Condições térmicas acima da zona de conforto podem comprometer o desempenho dos animais de produção e contribuem para o desenvolvimento de problemas de saúde nos trabalhadores, que demandam atenção e agilidade na execução de tarefas, prejudicadas pela falta de concentração e fadiga decorrentes do calor (Carvalho et al., 2011).

De acordo com Baêta & Souza (2010), o uso de abrigos com materiais adequados de cobertura promove a redução de até 30% da carga térmica radiante quando comparado com situações de exposição à radiação solar direta melhorando, assim, o estado de conforto térmico de seus ocupantes.

A manutenção de sistemas de climatização natural é uma das premissas fundamentais para a obtenção de uma instalação eficiente energeticamente, através de estratégias como: especificação correta de materiais de construção que contribuam para a redução do ganho térmico e manutenção do conforto interno; utilização de sistemas passivos de climatização e iluminação natural dos ambientes internos, entre outros (Keeler & Burke, 2010).

Outra alternativa passível de ser utilizada para adequação dos elementos meteorológicos no interior de instalações agrícolas é a utilização do telhado verde. Este tipo de telhado ajuda na diminuição da temperatura no interior da instalação (Parizotto & Lamberts, 2011) pois reduz a amplitude térmica promovendo melhor conforto térmico e acústico para o ambiente interno.

Para quantificar a variação de temperatura dos materiais utilizados nas coberturas de instalações é indispensável a utilização de ferramentas de precisão. Uma das possibilidades para a determinação de propriedades térmicas de materiais é a termografia por infravermelho, considerada ensaio não invasivo o qual pode ser utilizado para determinar a temperatura superficial de objetos (Altoé & Oliveira Filho, 2012). Neste contexto objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar o conforto térmico proporcionado por diferentes tipos de cobertura, com base nas análises térmicas e nos índices de conforto térmico humano e zootécnico.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no período de 20 de março a 29 de maio de 2014 com duração de 70 dias, na área experimental do

Departamento de Engenharia Agrícola Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no município de Recife, Zona da Mata do Estado de Pernambuco, latitude de 8° 04'03" S, longitude de 34° 55'00" W e altitude de 4 m.

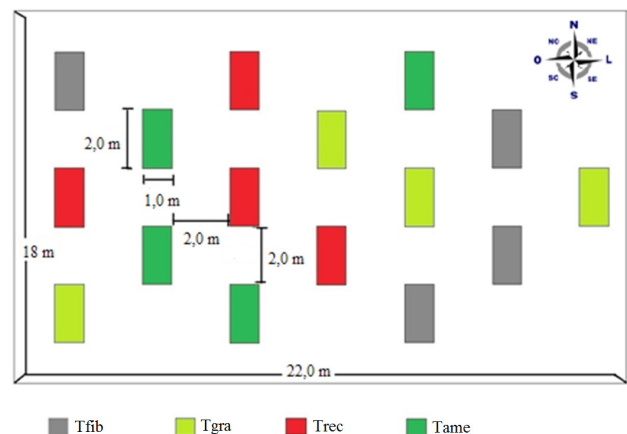
O clima da região é caracterizado como megatérmico (As') com precipitação de inverno e estação seca do verão até o outono, segundo classificação de Köppen (Pereira et al., 2002). A temperatura média anual é de 25,5 °C; as temperaturas mais elevadas ocorrem em Janeiro, com média de 27 °C e Julho é o mês mais frio, com média de 24 °C.

O experimento foi dividido em dois períodos: período de baixa pluviosidade (PBP), compreendido entre os dias 20/3 a 25/4 e período de alta pluviosidade (PAP) compreendido entre os dias 26/4 a 29/5. A área do terreno onde o experimento foi montado possui 22 m de largura por 18 m de comprimento, nivelada, gramada e livre de sombreamento.

Os modelos reduzidos e distorcidos das instalações foram construídos nas escalas de 1:10 nas dimensões horizontais e 1:2 nas dimensões verticais, de acordo com metodologia utilizada por Sampaio et al. (2011), com medidas de 2,0 m de comprimento por 1,0 m de largura e 1,4 m de pé direito, distanciados 2,0 m entre si, que simulavam uma instalação zootécnica, tal como seu efeito sobre os trabalhadores humanos.

Os modelos foram construídos com base de tijolos de 0,30 m, pilares de tubos de PVC concretados, piso de concreto, ripas de madeira para suporte das coberturas, fechamento lateral em chapas de madeira reconstituída, com abertura em uma das faces para o acesso à instrumentação interna, telhado em duas águas, com beirais de 0,16 m e inclinação de 0,10 m (15%). O fechamento lateral proposto teve a função de minimizar o efeito das trocas convectivas admitindo-se que o modelo de simulação não apresentava ventilação cruzada colocando em destaque o isolamento proporcionado pela cobertura verde.

Foram considerados quatro tipos de cobertura telha de fibrocimento de 6 mm (Tfib), telha reciclada (6 mm), composta por 75% de polímeros e 25% de alumínio (Trec), telhado verde, grama, *Zoysia japonica* (Tgra) e telhado verde, amendoim, *Arachis repens* (Tame), com quatro repetições cada um totalizando 16 modelos em escala reduzida e distorcida, dispostos aleatoriamente (Figura 1).



Tfib - Telha de fibrocimento de 6 mm; Tgra - Telhado verde, grama, *Zoysia japonica*; Trec - Telha composta por 75% de polímeros e 25% de alumínio; Tame - Telhado verde, amendoim, *Arachis repens*.

Figura 1. Esquema de distribuição dos tratamentos na área experimental

Para a implantação do telhado verde utilizaram-se placas recicladas de mesma composição das telhas, com 0,01 m de espessura que serviram de suporte a 28 bandejas de polietileno de alta densidade, com dimensões de 0,4 x 0,3 x 0,07 m para cada repetição (modelo reduzido), onde foram plantadas as vegetações com a utilização de substrato composto de solo rico em matéria orgânica e pó de coco na proporção 2:1, que foram submetidos a dois turnos de irrigação no período seco.

As variáveis meteorológicas temperatura de bulbo seco (T_{bs} , °C), umidade relativa do ar (UR%) e temperatura de globo negro (T_{gn} , °C) foram registradas no interior dos modelos reduzidos por meio de data loggers modelo HOBO U12-12.

Para as variáveis do ambiente externo foi utilizada uma estação meteorológica automática, localizada próxima à área do experimento (50 m). Os dados internos e externos aos abrigos foram registrados a cada 15 min no decorrer do período experimental.

O registro da velocidade instantânea do ar ($m\ s^{-1}$) foi realizado no decorrer da pesquisa, no interior dos modelos reduzidos e no ambiente externo, nos horários coincidentes ao registro das imagens termográficas, por meio de um termômetro, AZ Instrumentos*, modelo 8908.

Foi determinado o índice de temperatura de globo e de umidade (ITGU), por meio da equação proposta por Buffington et al. (1981) (Eq. 1):

$$ITGU = T_g + 0,36T_{po} + 41,5 \quad (1)$$

em que:

- T_g - temperatura de globo negro, °C; e
- T_{po} - temperatura de ponto de orvalho, °C.

Também foram determinados: o índice de temperatura e umidade (ITU, °C) proposto por Giles et al. (1990) (Eq. 2), a temperatura efetiva (T_e , °C) proposta por Missenard (1937) (Eq. 3) e o índice de conforto humano (ICH, °C) proposto por Rosenberg et al. (1983) (Eq. 4):

$$ITU = T_a - 0,55(1 - 0,01UR)(T_a - 14,5) \quad (2)$$

em que:

- ITU - índice de temperatura e umidade, °C;
- T_a - temperatura do ar, °C; e
- UR - umidade relativa, %.

$$T_e = T - 0,4 \left[\left(1 - \frac{UR}{100} \right) \right] (T - 10) \quad (3)$$

em que:

- T_e - temperatura efetiva, °C;
- T - temperatura do ar, °C; e
- UR - umidade relativa do ar, %.

$$ICH = t_a + \frac{5}{9}(e_a - 10) \quad (4)$$

em que:

- T_a - temperatura do ar, °C; e

e_a - pressão de vapor, kPa.

$$e_a = \frac{(e_s \times UR)}{100} \quad (5)$$

em que:

- e_a - pressão de vapor, kPa; e
- e_s - pressão de vapor do ar saturado, kPa (Eq. 3).

$$e_s = 0,611 \times 10^{\left[\frac{(7,5 \times T_a)}{(237,3 + T_a)} \right]} \quad (6)$$

em que:

- e_s - pressão de vapor do ar saturado, kPa; e
- T_a - temperatura do ar, °C.

Para a análise térmica da cobertura dos modelos foram utilizadas imagens termográficas obtidas por uma câmera termográfica modelo FLIR E60, feitas da face interna das coberturas, no centro geométrico dos modelos e em paralelo à superfície do solo, registradas nos horários das 9, 12 e 15 h, obtidas uma vez por semana, durante todo o período experimental.

As imagens foram processadas pelo programa computacional FLIR QuickReport em que foram ajustados os valores da emissividade em função do tipo de material avaliado, sendo 0,92 para cobertura de telha de fibrocimento e 0,65 para cobertura de telha reciclada.

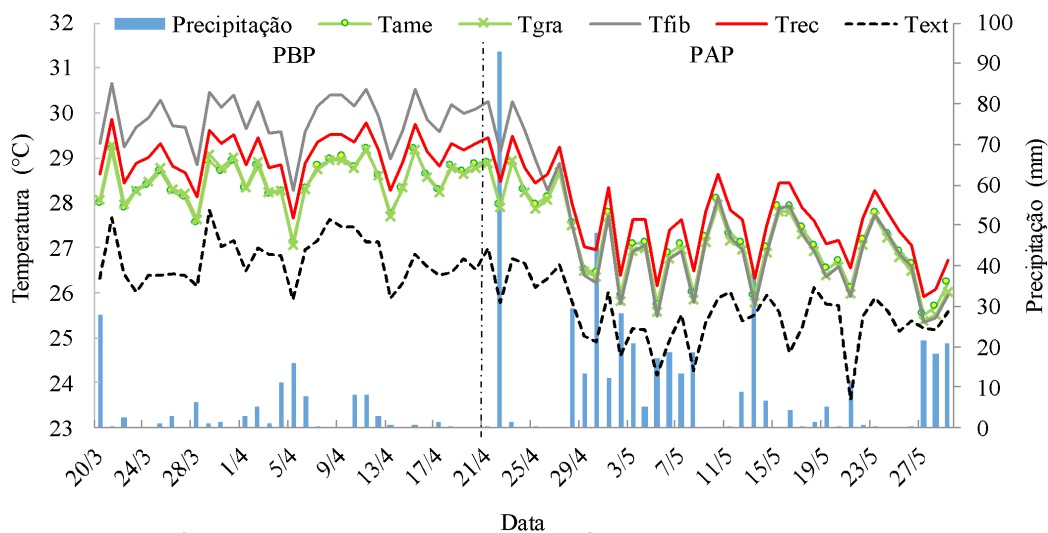
Os índices de conforto foram submetidos à ANOVA, de acordo com o delineamento inteiramente casualizado. A análise estatística foi efetuada por meio do software Statistical Analysis System (SAS, 2009) e as inferências obtidas foram avaliadas pelo teste de Duncan a nível de 0,01 de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os valores médios diários de temperatura do ar obtidos nos abrigos com diferentes coberturas, telha de fibrocimento (T_{fib}), telha reciclada (T_{rec}), telhado verde, grama, *Zoysia japonica* (T_{gra}) e telhado verde, amendoim, *Arachis repens* (T_{ame}) e no ambiente externo (T_{ext}), precipitação média diária, durante todo o período experimental (20/03 a 29/05/2014).

Observa-se, no decorrer de todo o período experimental, que os valores médios da temperatura do ar no interior dos abrigos Tame (27,75 °C), T_{gra} (27,70 °C), T_{fib} (28,40 °C), T_{rec} (28,28 °C), foram maiores que no ambiente externo (26,07 °C), com diferenças da ordem de 1,68; 1,63; 2,34 e 2,21 °C, respectivamente.

O modelo reduzido apresentava apenas uma entrada de ventilação, aliada a baixa velocidade do vento registrada no interior dos ambientes (0,38 $m\ s^{-1}$) o que propiciou a redução das transferências de calor por convecção. Havendo pouca troca de ar entre o interior e o exterior, a energia proporcionada pela incidência da radiação solar faz aumentar a temperatura interna e a massa de ar quente não é dissipada pelas correntes laterais e ascendentes, o que evidenciou o efeito do incremento térmico proporcionado pela transmissão de energia das coberturas (Faggianelli et al., 2014).



PBP - Período de baixa pluviosidade; PAP - Período de alta pluviosidade; Tfib - Telha de fibrocimento de 6 mm; Tgra - Telhado verde, grama, *Zoysia japonica*; Trec - Telha composta por 75% de polímeros e 25% de alumínio; Tame - Telhado verde, amendoim, *Arachis repens*.

Figura 2. Variação média diária da precipitação (mm) e da temperatura do ar (°C) nos modelos reduzidos e no ambiente externo

A redução da temperatura do ar nos abrigos com telhado verde (Tame e Tgra) comparativamente com Tfib foi de 0,65 e 0,67 °C, respectivamente. Isto se deve à modificação dos elementos meteorológicos, na microescala, ocasionada pela vegetação, intimamente associada à presença de água, utilizada no processo de evapotranspiração que, além de reduzir o percentual de energia absorvido pela cobertura, auxiliou na redução da transmissão de energia para o interior dos abrigos (Rosseti et al., 2013).

Nota-se claramente a divisão experimental em período de baixa pluviosidade (PBP 20/3 a 21/4) com precipitação acumulada de 109,0 mm e período de alta pluviosidade (PAP 22/4 a 29/5) com 457,4 mm. No PBP observam-se maiores diferenças entre os valores registrados de temperatura do ar no interior dos abrigos quando comparados ao PAP. O efeito da chuva promove redução da temperatura interna dos ambientes (Machado et al., 2012). A água promove, por utilizar a energia para mudança de seu estado físico, o resfriamento da superfície do material de cobertura e, em contrapartida, reduz a transmissão de energia para o interior do abrigo, com atenuação da temperatura do ar.

No PBP os valores médios da temperatura do ar no interior dos abrigos Tame (28,50 °C), Tgra (28,52 °C), Tfib (29,87 °C) e Trec (29,07 °C) foram maiores que no ambiente externo (26,75 °C), com diferenças da ordem de 1,75; 1,77; 3,12; 2,32 °C, respectivamente; a redução da temperatura do ar nos abrigos com telhado verde (Tame e Tgra) comparativamente com Tfib foi de 1,37 e 1,35 °C, respectivamente.

Resultado semelhante foi encontrado por Rosseti et al. (2013), em clima tropical com estação seca (Aw), na cidade de Cuiabá, MT, na estação de verão comparando-se protótipo com telhado vegetado e protótipo coberto com telha de fibrocimento convencional, em que verificaram menor temperatura para o telhado vegetado, com diferença de 4,7 °C.

Gupta et al. (2011) observaram, em trabalho realizado em clima temperado oceânico (Cfb), na cidade de Londres, para o período do verão, redução de 8 °C na temperatura do ar interior do edifício, a partir da incorporação à cobertura em concreto impermeabilizado de telhado vegetado com espessura de 150 mm e alta densidade de folhagem (IAF = 5).

As diferenças nos registros da temperatura do ar interno, nos abrigos com cobertura verde, não foram tão acentuadas quando comparadas com as duas pesquisas anteriores. Tal discrepância pode ser explicada pela condição climática da região, localidades com pouca precipitação e/ou alta incidência de radiação solar, experimentos citados, resultam em pouca disponibilidade de vapor d'água na atmosfera, o que propicia uma situação favorável para que a evapotranspiração seja elevada, conseqüentemente, a troca do calor sensível pelo latente é mais eficiente.

Em climas como do Recife (As'), com alta disponibilidade de vapor d'água na atmosfera, o mesmo não ocorre, ou seja, a evapotranspiração das plantas é menor pois a demanda atmosférica por vapor d'água é menor devido à alta umidade relativa do ar (Pereira et al. 2002).

No PAP os valores médios da temperatura do ar no interior dos abrigos Tame (27,09 °C), Tgra (26,98 °C), Tfib (27,12 °C) e Trec (27,59 °C) foram maiores que no ambiente externo (25,47 °C), com diferenças da ordem de 1,62; 1,51; 1,65; 2,12 °C, respectivamente enquanto a redução da temperatura do ar nos abrigos com telhado verde (Tame e Tgra) comparativamente com Tfib foi de 0,03 e 0,14 °C, respectivamente.

Verifica-se que neste período os valores de temperatura do ar no interior dos abrigos cobertos com Tfib se assemelham àqueles encontrados nos abrigos com telhado verde, ocasionados pela alteração dos elementos meteorológicos no entorno, decorrente das chuvas e pelas características do material que compõe as telhas de fibrocimento, conferindo, a elas, a capacidade de absorver umidade.

Nota-se que os ambientes cobertos com telha reciclada registraram temperatura média superior à telha de fibrocimento devido à menor capacidade de absorção e retenção de umidade do material o que explica a discordância de resultados encontrados por Barnabé et al. (2014) no município de Pesqueira, PE (Cw), semiárido, baixa precipitação, em que a telha reciclada registrou temperatura média de 1,3 °C inferior à telha de fibrocimento; de maneira análoga, o que se verificou no PBP, foi que a Trec apresentou menores valores de temperatura do ar no interior do abrigo.

No interior dos abrigos foram observadas diferenças significativas para os índices ITGU, ITU, ICH e TE, quando comparados com Tame, Tgra, Tfib e Trec (Tabela 1).

Os abrigos com cobertura verde (Tame e Tgra) proporcionaram redução nos valores de ITGU, ITU, ICH e TE quando comparados com a cobertura de Tfib e Trec, o que sinaliza sua viabilidade como técnica natural de climatização em ambientes construídos. A necessidade de projetar instalações adaptadas, com características construtivas diferenciadas que garantam o conforto e permitam, ao animal, melhor desempenho produtivo (Fiorelli et al., 2012). Desta forma, as coberturas verdes, além de contribuir para a redução dos índices de conforto apresentam outras vantagens, como a redução do escoamento superficial (Stovin et al., 2012), da poluição do ar (Gartland, 2010), dos ruídos (Renterghem & Botteldooren, 2009) e da transmissão de energia para o interior da construção.

Vaz et al. (2009), verificaram que o valor de ITGU de 82,9 na fase final de criação de frangos de corte, caracteriza uma condição de estresse térmico; assim, pode-se inferir que os abrigos estudados apresentaram condição de calor moderado para a maioria das espécies de exploração econômica.

Os valores de ITU para Tame e Tgra foram inferiores àqueles observados nos abrigos com Tfib e Trec; no entanto, ambos estiveram acima do recomendado para o conforto humano (Tabela 1). Valores de ITU acima de 25 indicam desconforto para a maioria das pessoas enquanto valores entre 15 e 20 são aceitos como sendo confortáveis. Valores entre 21 e 24 indicam crescente desconforto (Nogueira et al., 2012). O índice considera que a evaporação do suor é uma maneira natural de resfriar a temperatura do corpo. Quando o ar está muito úmido, característica do clima da região de estudo (As'), a perda de calor por evaporação é reduzida razão pela qual um dia quente e úmido parecerá mais quente e desconfortável que um dia quente e seco.

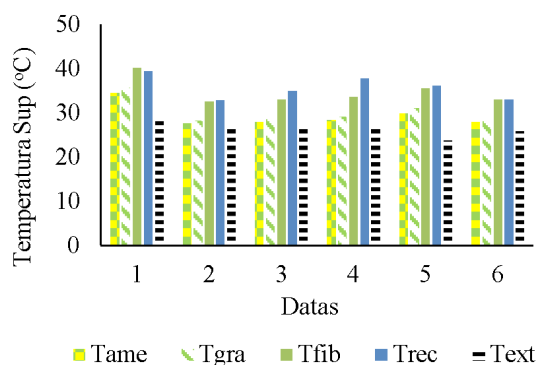
O grau de conforto em função dos valores de ICH obtidos nos abrigos com cobertura verde apresentou menores valores quando comparado ao dos telhados convencionais (Tfib e Trec), mas todas as coberturas se encontram na condição "confortável" de conformidade com os seguintes critérios: valores entre 20-29, Graus de Conforto "Confortável", 30-39, "Graus de conforto variando", 40-45, "Desconforto suportável" e 46 ou mais, "Desconfortável".

A Figura 3 mostra a temperatura superficial da face interna das coberturas registradas instantaneamente através de câmera termográfica e temperatura externa.

Tabela 1. Valores médios dos índices de conforto térmico nos abrigos cobertos com Tame, Tgra, Tfib e Trec

	ITGU	ITU	ICH	TE
	(°C)			
Tame	78,74 b	26,26 b	24,18 b	26,28 b
Tgra	78,63 b	26,16 b	24,12 b	26,20 b
Tfib	79,73 a	26,95 a	24,87 a	27,00 a
Trec	79,46 a	26,72 a	24,77 a	26,78 a

ITGU - Índice de temperatura de globo e de umidade; ITU - Índice de temperatura e umidade; ICH - Índice de conforto humano; TE - Temperatura efetiva; Tfib - Telha de fibrocimento de 6 mm; Tgra - Telhado verde, grama, *Zoysia japonica*; Trec - Composta por 75% de polímeros e 25% de alumínio; Tame - Telhado verde, amendoim, *Arachis repens*.



Tfib - Telha de fibrocimento de 6 mm; Tgra - Telhado verde, grama, *Zoysia japonica*; Trec - Composta por 75% de polímeros e 25% de alumínio; Tame - Telhado verde, amendoim, *Arachis repens*.

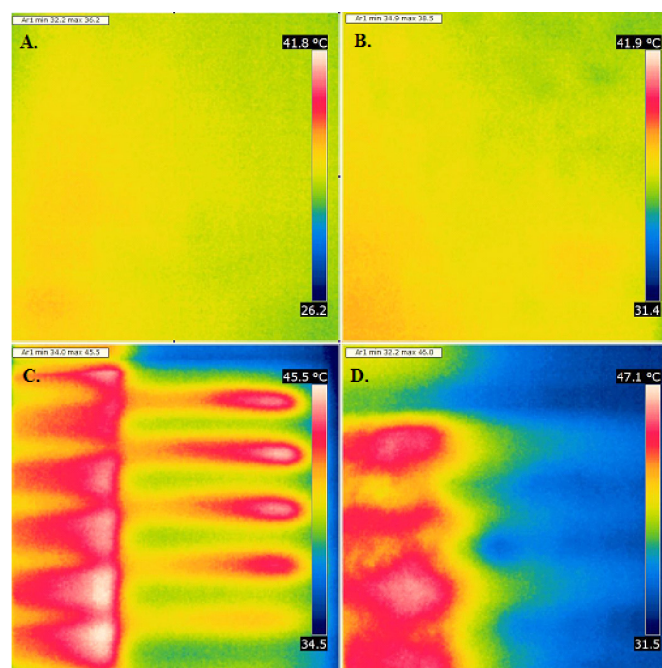
Figura 3. Temperatura superficial da face interna das coberturas, registradas instantaneamente através de câmera termográfica e temperatura externa

°C, enquanto as coberturas Tame, Tgra e Tfib apresentaram valores de 29,47, 30,33 e 34,73 °C, respectivamente, diferença de 6,31 e 5,45 °C, entre Tame, Tgra e telha reciclada.

Os menores valores de temperatura das superfícies das coberturas Tame e Tgra não significam, necessariamente, que tenha ocorrido uma situação de conforto térmico. Esta condição deve ser confirmada por meio da avaliação dos índices de conforto, por considerar o efeito da transferência de calor sensível e latente (Abreu et al., 2011).

A cobertura de telhas de fibrocimento apresentou valor entre 30,05 e 40,26 °C (Figura 3). O valor máximo é semelhante ao encontrado por Sampaio et al. (2011), de 34,27 °C para telhas de fibrocimento em experimento realizado em Lages-SC, durante o verão.

A Figura 4 apresenta as imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente (13:30 h) do



Tfib - Telha de fibrocimento de 6 mm; Tgra - Telhado verde, grama, *Zoysia japonica*; Trec - Composta por 75% de polímeros e 25% de alumínio; Tame - Telhado verde, amendoim, *Arachis repens*.

Figura 4. Imagens termográficas da superfície interna das coberturas, no horário mais quente do dia 24/03/2014. (A) Tame, (B) Tgra, (C) Tfib e (D) Trec

dia 24/03/2014, em que a temperatura da superfície interna da Tame (Figura 4A) foi 34,2 °C, Tgra (Figura 4B) foi 36,7 °C, Tfib (Figura 4C) foi 40,2 °C e Trec (Figura 4D) foi 39,1 °C. As coberturas verdes reduziram as temperaturas superficiais medidas na face interna das coberturas, em 5,3 e 4,4 °C, o que confirma que a vegetação promove redução da transmissão da irradiação solar para o interior do abrigo, em que se verificam temperaturas inferiores na superfície interna dos abrigos com coberturas verdes.

A cobertura verde reduziu a temperatura da superfície do telhado por acrescentar camadas de isolamento que desaceleram o fluxo de calor através da cobertura. Com isto, menor energia térmica é transferida do telhado para o interior do abrigo (Gartland, 2010).

CONCLUSÕES

1. Os modelos reduzidos cobertos com telhado verde mostraram melhor desempenho térmico em relação às coberturas de fibrocimento e telha reciclada.

2. Os telhados verdes proporcionaram redução nos valores de ITGU, o que sugere maior conforto térmico para animais de produção.

3. Em relação aos índices de conforto térmico humano, os telhados verdes obtiveram melhores resultados em comparação às outras coberturas.

LITERATURA CITADA

- Abreu, P. G.; Abreu, V. M. N.; Coldebella, A.; Lopes, L. S.; Conceição, V.; Tomazelli, I. L. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.1193-1198, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001100013>
- Altoé, L.; Oliveira Filho, D. Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. *Acta Tecnológica*, v.7, p.55-59, 2012.
- Baêta, F. C.; Souza, C. F. *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010. 269p.
- Barnabé, J. M. C.; Pandorfi, H.; Almeida, G. L. P.; Guiselini, C.; Jacob, A. L. Temperatura superficial de materiais utilizados para cobertura individual de bezerreiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.545-550, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000500012>
- Buffington, D. E.; Collasso-Arocho, A.; Canton, G. H.; Pit, D. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, v.24, p.711-714. 1981. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.34325>
- Carvalho, C. C. S.; Souza, C. F.; Tinôco, I. de F. F.; Vieira, M. F. A.; Minette, L. J. Segurança, saúde e ergonomia de trabalhadores em galpões de frangos de corte equipados com diferentes sistemas de abastecimento de ração. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.438-447, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000300004>
- Faggianelli, G. A.; Brun, A.; Wurtz, E.; Muselli, M. Natural cross ventilation in buildings on Mediterranean coastal zones. *Energy and Buildings*, v.77, p.206-218, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.042>
- Fiorelli, J.; Schmidt, R.; Kawabata, C. Y.; Oliveira, C. E. L.; Savastano Júnior, H.; Rossignolo, J. A. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. *Ciência Rural*, v.42, p.64-67, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000100011>
- Gartland, L. *Ilhas de calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 243p.
- Giles, D. B.; Balafouts, C.; Maheras, P. Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*, v.34, p.98-104, 1990. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01093455>
- Gupta, A.; Hall, M. R.; Hopfe, C. J.; Rezgui, Y. Building integrated vegetation as an energy conservation measure applied to non-domestic building typology in the UK. In: *Conference of International Building Performance Simulation Association*, 12, 2011, Sydney. *Proceedings...* 2011. CD Rom
- Keeler, M.; Burke, B. *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis*. Porto Alegre: Bookman, 2010. 362p.
- Machado, N. S.; Tinôco, I. F. F.; Zolnier, S.; Mogami, C. A.; Damasceno, F. A.; Zeviani, W. M. Resfriamento da cobertura de aviários e seus efeitos na mortalidade e nos índices de conforto térmico. *Revista Nucleus*, v.9, p.59-73, 2012. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.718>
- Missenard, A. *L'Homme at lê climat*. Paris, 1937. 270p.
- Moura, D. J.; Bueno, L. G. F.; Lima, K. A. O.; Carvalho, T. M. R.; Maia, A. P. A. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, p.311-316, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300034>
- Nogueira, C. E. C.; Siqueira, J. A. C.; Melegari, S. N.; Niedzialkoski, R. K.; Prado, N. V. Avaliação do conforto térmico nas residências convencional e inovadora do "Projeto CASA", Uniãoeste, Campus de Cascavel. *Acta Scientiarum Technology*. Maringá, v.34, p.3-7, 2012.
- Parizotto, S.; Lamberts, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings*, v.43, p.1712-1722, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.014>
- Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- Renterghem, T. van; Botteldooren, D. Reducing the acoustical façade from road traffic with green roofs. *Building and Environment*, v.44, p.1081-1087, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.013>
- Rosenberg, N. J.; Bland, B. L.; Verma, S. B. *Microclimate: The biological environment*. New York: John Wiley & Sons, 1983. 467p.
- Rosseti, K. A. C.; Nogueira, M. C. J. A.; Franco, F. M.; Nogueira, J. S. Análise da interferência da cobertura verde na temperatura e umidade relativa do ar do entorno da edificação - Estudo de caso em protótipo no município de Cuiabá, MT. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.9, p.1959-1970, 2013.
- Sampaio, C. A. P.; Cardoso, C. O.; Souza, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.230-236, 2011.
- SAS - Statistical Analysis System. *SAS Companion for the Microsoft Windows Environment*. Version 8, Cary: 2009. CD-Rom
- Stovin, V.; Vesuviano, G.; Kasmin, H. The hydrologic performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*, p.414-415, 2012.

- Torres Júnior, J. R. S.; Pires, M. F. A.; Sá, W. F.; Ferreira, A. M.; Vianna, J. H. M.; Camargo, L. S. A.; Ramos, A. A.; Folhadella, I. M.; Polisseni, J.; Freitas, C.; Clemente, C. A. A.; Sá Filho, M. F.; Paula, L. F. F.; Baruselli, P. S. Effect of maternal heatstress on follicular growth and oocyte competence in *Bos indicus* cattle. *Theriogenology*, v.69, p.155-166, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.06.023>
- Vaz, R. G. M. V.; Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Albino, L. F. T.; Oliveira, W. P.; Silva, B. A. N. Inclusão de cromo orgânico em rações para frangos de corte mantidos sob estresse por calor no período de um a 42 dias de idade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.61, p.484-490, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352009000200028>