

CARLOS ROBERTO DA COSTA JUNIOR

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES RURAIS COM TELHADOS
VERDES**

RECIFE

2016

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES RURAIS COM TELHADOS
VERDES**

CARLOS ROBERTO DA COSTA JUNIOR

Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Profa. Dra. **CRISTIANE GUISELINI**

Co-orientadora: Profa. Dra. **VIVIAN LOGES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE

2016

Ficha catalográfica

C837c Costa Junior, Carlos Roberto da
Conforto térmico em edificações rurais com telhados verdes /
Carlos Roberto da Costa Junior. – 2016.
75 f. : il.

Orientadora: Cristiane Guiselini.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, Recife, BR-PE, 2016.
Inclui referências.

1. Bem-estar 2. Cobertura verde 3. Modelo reduzido
4. Termografia I. Guiselini, Cristiane, orientadora II. Título

CDD 631

CARLOS ROBERTO DA COSTA JUNIOR

**CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES RURAIS COM TELHADOS
VERDES**

Dissertação defendida e aprovada em 29 de setembro de 2016 pela Banca
Examinadora:

Orientadora:

Profa. Dra. Cristiane Guiselini
DEAgri/UFRPE

Examinadores:

Profa. Dra. Simone Santos Lira Silva
DEPA/UFRPE

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida
DEAgri/UFRPE

Prof. Dr. Héilton Pandorfi
DEAgri/UFRPE

SALMO 23

Deus hospeda o perseguido

¹Salmo. De Davi.

Javé é o meu pastor.

Nada me falta.

²Em verdes pastagens me faz repousar;

para fontes tranquilas me conduz,

³e restaura minhas forças.

Ele me guia por bons caminhos,

por causa do seu nome.

⁴Embora eu caminhe por um vale tenebroso,

nenhum mal temerei, pois junto a mim estás;

teu bastão e teu cajado me deixam tranquilo.

⁵Diante de mim preparas a mesa,

à frente dos meus opressores;

unges minha cabeça com óleo,

e minha taça transborda.

⁶Sim, felicidade e amor me acompanham

todos os dias da minha vida.

Minha morada é a casa de Javé,

por dias sem fim.

A Deus em primeiro lugar.

À minha esposa Silvia Emanuella, por todo amor, carinho, companheirismo, cumplicidade, paciência, apoio, incentivo e dedicação com que enfrentou o período do mestrado junto comigo.

Aos meus pais, Carlos Roberto e Maria José, pelo exemplo de dignidade e perseverança, ofereço este trabalho, que foi fruto do incentivo e dedicação que desde cedo me foi dado.

Ao meu irmão Hugo Mariano.

Aos meus avôs, José Mariano (in memoriam) e Gercina Alves (in memoriam). Em especial, a minha avó Adalgisa Maria.

OFEREÇO E DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me iluminou e me deu forças nos momentos em que mais precisei para vencer os obstáculos surgidos durante esse percurso.

A minha esposa Silvia Emanuella pelo carinho, compreensão, companheirismo e que sempre me ajudou naquilo que estava ao seu alcance.

Ao meu pai Carlos Roberto e minha mãe Maria José, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim, ao meu irmão Hugo Mariano, as minhas tias e a minha querida avó Adalgisa Maria pelo seu amor, apoio e incentivo.

À professora Dra. Cristiane Guiselini, pela orientação atenciosa, por todo apoio, disposição, confiança e amizade.

À professora Dra. Vivian Loges, pela co-orientação, atenção e amizade.

Ao professor Dr. Héilton Pandorfi, pela disponibilidade, atenção, apoio e amizade.

Ao professor Dr. Gledson Pontes, pela disponibilidade, apoio, atenção e amizade.

A todos os meus amigos, os quais felizmente a lista é numerosa, agradeço pelo companheirismo, apoio, cumplicidade, grupos de estudo, aulas de estatísticas e bons momentos de descontração, em especial aos amigos Fabio Ferreira, Jhon Lennon, Francisco Sanguino, Diêgo Araújo e Denize Oliveira.

Ao Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA), e aos amigos, José Eduardo, Aline Lucena, Luiz Antônio, Jairo Cordeiro e Sávio Cavalcanti, por terem compartilhado comigo este trabalho e em especial a Janice Coelho pela amizade e por todo apoio e colaboração para o desenvolvimento desse estudo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela realização deste mestrado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola e de Agronomia, pela contribuição na minha formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Hipótese	13
1.2. Objetivo Geral	13
1.3. Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Conforto Térmico.....	14
2.1.1. Índices de Conforto Térmico Humano	16
2.1.2. Índices de Conforto Térmico Animal	20
2.2. Modelos de escalas reduzidas	22
2.3. Termografia por infravermelho	24
2.4. Materiais de cobertura.....	26
2.4.1. Telha de fibrocimento	27
2.4.2. Telhado verde.....	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1. Descrição da área	35
3.2. Descrição dos modelos reduzidos.....	35
3.2.1. Montagem do telhado verde	37
3.3. Instalação dos sensores e coleta de dados	39
3.4. Termografia	41
3.4.1. Índice de conforto térmico humano.....	42
3.4.2. Índice de conforto térmico animal	43
3.5. Análise dos dados	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5. CONCLUSÕES.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura básica de implantação de um telhado verde.....	31
Figura 2. Vista lateral (A) e frontal (B) do modelo em escala reduzida.	36
Figura 3. Modelo em escala reduzida. (A) lateral; (B) frontal; (C) interior.....	36
Figura 4. Telhado de fibrocimento do modelo em escala reduzida.	36
Figura 5. Componentes para implantação do telhado verde. (A) telhas de fibrocimento; (B) lona plástica; (C) bandejas de polietileno; (D) substrato rico em matéria orgânica.....	37
Figura 6. Bandejas com chanana (A, D); margaridinha (B, E) e salsa (C, F), sobre os telhados de fibrocimento.....	38
Figura 7. Área experimental com os modelos reduzidos.....	39
Figura 8. Sensor no centro geométrico no interior do modelo reduzido (A); Datalogger (B).....	40
Figura 9. Estação meteorológica automática.	40
Figura 10. Registro das imagens termográficas no interior do modelo reduzido (A); Câmera termográfica (B).	41
Figura 11. Disposição dos modelos reduzidos na área experimental.....	45
Figura 12. Relação funcional entre a temperatura nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (Tcha) - A, margaridinha (Tmar) - B, salsa (Tsal) - C e fibrocimento (Tfib) - D e a temperatura do ambiente externo (Text).....	46
Figura 13. Variação média diária da temperatura do ar nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs) e fibrocimento (Tfib), ambiente externo (Text) e precipitação.	47
Figura 14. Variação média horária da temperatura do ar nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib) e do ambiente externo (Text).....	49
Figura 15. Relação funcional entre a umidade relativa nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (URcha) - A, margaridinha (URmar) - B, salsa (URsal) - C e fibrocimento (URfib) - D e a umidade relativa do ambiente externo (URext).....	50

Figura 16. Variação média diária da umidade relativa do ar nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib), ambiente externo (Text) e precipitação.....	51
Figura 17. Índice de desconforto (ID) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).	52
Figura 18. Temperatura efetiva (TE) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).	53
Figura 19. Índice de conforto humano (ICH) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).....	54
Figura 20. Índice de temperatura e umidade (ITU) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).....	54
Figura 21. Temperatura da superfície interna do material de cobertura nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs) e fibrocimento (Tfib).	57
Figura 22. Imagens térmicas da superfície interna do material de cobertura nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc - A), margaridinha (TVm - B), salsa (TVs - C) e fibrocimento (Tfib - D).....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das zonas de conforto e desconforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.....	18
Tabela 2. Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.	19
Tabela 3. Classificação do grau de conforto térmico em função dos valores de ICH.	19
Tabela 4. Classificação dos valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para animais.	20
Tabela 5. Valores típicos de emissividade para alguns materiais.	25
Tabela 6. Classificação geral das coberturas verdes.	29
Tabela 7. Valores médios e desvio padrão dos índices de conforto térmico humano e animal nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).....	55

CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES RURAIS COM TELHADOS VERDES

Autor: **CARLOS ROBERTO DA COSTA JUNIOR**

Orientadora: **Profa. Dra. CRISTIANE GUISELINI**

Co-orientadora: **Profa. Dra. VIVIAN LOGES**

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o nível de conforto térmico, em modelos reduzidos e distorcidos de edificações rurais submetidos a telhados verdes. A pesquisa foi realizada no período de 01 de abril a 31 de maio de 2015, com 61 dias de duração, na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, na (UFRPE), no município de Recife-PE. As variáveis meteorológicas de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), foram registradas no interior dos modelos reduzidos por meio de dataloggers. No ambiente externo as variáveis meteorológicas foram registradas por uma estação meteorológica automática. Para análise térmica do telhado dos modelos reduzidos, foram utilizadas imagens térmicas, obtidas por uma câmera termográfica, da superfície interna dos telhados. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, onde foram utilizados 4 tratamentos, telhado verde de chanana (*Turnera subulata*) (TVc), telhado verde de margaridinha (*Sphagneticola trilobata*) (TVm), telhado verde de salsa (*Ipomoea asarifolia*) (TVs) e telhado de fibrocimento (Tfib), com 4 repetições, o que totalizou 16 modelos em escala reduzida. Para comparação entre as médias, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Os telhados verdes (TVc, TVm e TVs) promoveram redução da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos em (0,71; 0,19 e 0,35 $^{\circ}\text{C}$) e reduziram a temperatura da superfície interna das coberturas em (1,5; 0,8 e 0,8 $^{\circ}\text{C}$), em comparação com o telhado de fibrocimento (Tfib). Os modelos reduzidos submetidos ao telhado verde de chanana apresentaram melhor desempenho térmico e redução da temperatura do ar no seu interior.

Palavras-chave: bem-estar, cobertura verde, modelo reduzido, termografia.

THERMAL COMFORT IN RURAL SHELTERS WITH GREEN ROOF

Author: **CARLOS ROBERTO DA COSTA JUNIOR**

Adviser: **Profa. Dra. CRISTIANE GUISELINI**

Co-Adviser: **Profa. Dra. VIVIAN LOGES**

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate thermal comfort level in distorted small-scale models of green-roofs submitted rural shelters. The study was carried out during April 1 to May 31 2015, lasting 61 experimental days, at the experimental area of Agricultural Engineering Department, from (UFRPE), in Recife-PE. Meteorological variables of air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and air relative humidity (%) were recorded inside the small-scale models dataloggers. While the same variables were recorded outside the shelters using an automatic meteorological station. In order to perform thermal analysis of the small-scale models green roof, it was used thermal images from the internal roof surface obtained by a thermographic camera. It was used a completely randomized design, in which four treatments were used, green roof of chanana (*Turnera subulata*) (TVc), margaridinha (*Sphagneticola trilobata*) (TVm), salsa (*Ipomoea asarifolia*) (TVs) and roof of fiber cement (Tfib), in which four replicates, summing up to 16 small-scale models. Tukey's test ($p < 0.05$) was used in order to compare treatments' means. Green roofs (TVc, TVm e TVs) promoted air temperature reduction inside the small-scale models in (0,71 $^{\circ}\text{C}$; 0,19 $^{\circ}\text{C}$ e 0,35 $^{\circ}\text{C}$) and internal surface temperature reduction inside of coverages in (1,5; 0,8 e 0,8 $^{\circ}\text{C}$), compared with to the roof of fiber cement (Tfib). Small-scale models submitted green roof of chanana presented the best thermal performance and air temperature reduction inside its shelter.

Keywords: welfare, green covering, small-scale model, thermography.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os problemas zootécnicos e de conforto humano, são decorrentes do desafio imposto pelo clima do local, e isso têm sido negligenciado pelos atores envolvidos na interação ambiente x cliente, assim como a influência do ambiente tropical sobre o desempenho dos animais e na melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores do campo. Dessa forma, o manejo micrometeorológico é de extrema importância para minimizar os efeitos negativos do ambiente no conforto térmico das edificações rurais (Nóbrega et al., 2011).

Na região Nordeste do Brasil, as maiores limitações produtivas, reprodutivas e do desenvolvimento animal estão relacionadas ao estresse térmico devido a regionalização e ao efeito combinado da alta temperatura, elevada umidade relativa do ar, alta incidência de radiação solar e baixa velocidade do ar (Avendano et al., 2006), o que reduz a eficiência dos processos de transferência de massa e energia nas instalações agrícolas (Dikmen & Hansen, 2009).

O conforto térmico possui efeitos diretos na produção e na satisfação de cada indivíduo (Donaisky et al., 2010). Condições climáticas inapropriadas significam perda de eficiência no trabalho do homem do campo e conduzem a necessidade de ampliação da demanda energética para o condicionamento térmico das moradias rurais (Andreasi et al., 2010).

As limitações para obtenção de altos índices zootécnicos no Brasil decorrem de alojamentos em ambientes com clima quente, de animais geneticamente desenvolvidos em climas mais amenos. Isso ressalta a necessidade de instalações adaptadas, com características construtivas que garantam o máximo possível de conforto, que permite ao animal abrigado, desenvolver todo o seu potencial genético (Fiorelli et al., 2009). Nesse contexto, a avaliação das condições micrometeorológicas promovidas por diferentes modelos e emprego de técnicas de climatização e materiais construtivos, torna-se oneroso para instalações em escala real, por possuírem grandes dimensões, além da necessidade de realizar repetições de natureza estatística (Jentzsch, 2002).

Aliado a isso, uma técnica que vem sendo empregada para análise da variabilidade térmica em edificações é a obtenção de imagens por meio da câmera termográfica, por se tratar de uma ferramenta versátil para a avaliação da temperatura de superfícies alvo, como os materiais que compõe as vedações e coberturas das instalações rurais, o que auxilia na determinação do impacto dos elementos meteorológicos nas propriedades térmicas dos materiais de construção e nas respostas fisiológicas e produtivas dos animais de produção e ocupantes de moradias rurais (Pandorfi et al., 2012; Roberto et al., 2011; Sousa et al., 2011).

Castro (2012) avaliou a eficiência térmica de materiais de cobertura em instalações avícolas, por meio de modelos reduzidos e índices de conforto térmico, onde encontrou um elevado valor da CTR das 8 às 14 horas, sendo observado valor máximo as 14 horas. Foi avaliado durante o verão, o ambiente térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas construídos na escala 1:10, foram encontrados valores de ITGU próximos a 80 (Santos et al., 2005). Almeida & Passini (2013) avaliaram diferentes tipos de coberturas em instalações para aves, eles consideraram o ITGU, no horário das 14 horas como o mais crítico e com menor conforto térmico.

Segundo Conceição et al. (2008), boa parte das instalações rurais utilizam telhas onduladas, como as de cimento amianto, por apresentarem custo inferior ao das telhas cerâmicas. Em países industrializados, o amianto tem sido banido da construção civil, por ser prejudicial à saúde, favorecendo o uso de fibras naturais como as de fibrocimento, em materiais que antes utilizavam o amianto como matéria prima (Picanço & Ghavami, 2008).

Segundo Carneiro (2014), uma outra alternativa de cobertura para ser utilizada em instalações agrícolas é a do telhado verde. Esse tipo de cobertura vegetal pode ser instalado tanto em cobertura com laje de forro ou sobre telhados convencionais, como o de telha cerâmica, fibrocimento, dentre outros.

Segundo Beyer (2007), os telhados verdes ajudam na diminuição da temperatura do ar no interior das edificações, pois diminui a amplitude térmica, promovendo melhor conforto térmico no interior da instalação, onde o telhado verde em comparação com o telhado de fibrocimento, pode apresentar uma redução da amplitude térmica em até 5°C.

1.1. Hipótese

O telhado verde com melhor fechamento foliar permite a redução da carga térmica e conseqüentemente melhora o conforto térmico no interior das edificações.

1.2. Objetivo Geral

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o nível de conforto térmico, em modelos reduzidos e distorcidos de edificações rurais submetidos a telhados verdes.

1.3. Objetivos Específicos

- a) Avaliar a redução da temperatura no interior das edificações, por meio dos telhados verdes;
- b) Comparar a eficiência térmica dos telhados, pelos índices de conforto térmico;
- c) Analisar as temperaturas superficiais dos telhados, por meio de imagens térmicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conforto Térmico

Na região Norte e Nordeste do Brasil, o clima predominante é o tropical, com temperaturas médias elevadas durante todo o ano. Sendo necessário o uso de modificações ambientais, para o combate do estresse térmico dos animais, que permite que eles possam produzir e reproduzir com eficiência (Nazareno et al., 2009).

O conforto térmico é uma condição imposta pelo ambiente nas edificações para proporcionar conforto e satisfação ao ser humano e ao animal no ambiente em que se encontram (Santos & Andrade, 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 contribuir 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).

Na produção animal, o aumento na temperatura do ar pode causar sérios problemas relacionados ao conforto térmico e bem-estar dos animais, pois o desempenho produtivo depende, dentre outros fatores, da redução dos efeitos climáticos sobre os animais. Com isso, o conforto térmico dentro das edificações está diretamente relacionado com o calor produzido pelos animais, o calor que é absorvido por meio da radiação solar, o calor trocado pelos materiais de cobertura, paredes, piso ou cama e às trocas térmicas provocadas pela ventilação, natural ou artificial (Castro, 2012).

A transferência de calor de um corpo devido à existência de diferentes temperaturas, sem mudança de estado físico, é denominada trocas secas. Nestas trocas, o calor envolvido é denominado como calor sensível, e a

transferência de calor acontece por meio da condução, radiação e convecção (Baêta & Souza, 1997). Outra forma de transferência de calor são as trocas úmidas que acontecem quando há uma mudança no estado físico da água, sendo o calor envolvido nestas trocas denominado calor latente, e o mecanismo é a evaporação (Frota & Shiffer, 1988).

Essas transferências de energia realizadas no sistema ave-galpão ocorrem, segundo Silva (2008), através de quatro componentes principais: condução, convecção, radiação (transferências sensíveis) e evaporação (transferência latente), que nas aves ocorre pela taquipinéia, sendo esse último um importante mecanismo de trocas térmicas entre o animal e o ambiente de produção. Para Nascimento et al. (2011), o aumento na temperatura superficial pode servir como resposta fisiológica da ave a condições inadequadas de alojamento.

A condução é um processo que exige contato físico direto entre as superfícies ou substâncias cujas temperaturas são diferentes, sendo a energia transferida de uma região de maior temperatura para outra de menor temperatura (Incropera et al., 2008).

A convecção é um processo pelo qual o calor é transferido entre uma superfície sólida e um fluido em movimento, em que ocorre a remoção do calor do material sólido aquecido. As trocas de calor por convecção envolvem o ar ou um líquido e uma superfície sólida (Incropera et al., 2008).

A radiação é uma forma de transmissão de calor que não necessita de um meio material para sua propagação, pois superfícies com temperaturas diferentes do zero absoluto emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas. Ao contrário da condução e da convecção, na radiação térmica o transporte de energia é instantâneo e associado a um mecanismo diferente. A energia não é transportada ponto a ponto no interior do meio, mas a partir de troca direta entre as superfícies afastadas e a diferentes temperaturas (Incropera et al., 2008).

A evaporação é a transferência de calor através da mudança de estado da água de líquido para gasoso, logo este processo também é carreador de calor para fora do corpo do animal. Deste modo, o ar inspirado, em contato com a umidade dos alvéolos pulmonares e das paredes dos condutos

respiratórios, acarreta a sua evaporação, e como o ar expelido é quase saturado de vapor d'água, contribui para que haja uma perda de calor (Medeiros & Vieira, 1997).

Maia et al. (2008) ao realizarem um estudo para determinarem simultaneamente, as taxas de evaporação cutânea e respiratória em ambiente tropical para vacas em lactação, eles observaram um aumento da temperatura de 10 para 36 °C e queda da umidade relativa de 90 para 30%, fizeram com que aumentasse a perda de energia pela evaporação respiratória de 5 para 57 W m⁻² e a transferência de energia por evaporação pela superfície corporal, via sudorese, passasse de 30 para 350 W m⁻². Então confirmaram que eliminação do calor latente é o principal mecanismo de perda de energia térmica sob altas temperaturas (>30 °C) e baixa umidade, sendo a evaporação cutânea responsável por 85% da perda total de calor.

Segundo Neves et. al. (2009), o estresse calórico é ocasionado pela combinação de fatores ambientais sobre os animais. Entretanto, um ambiente é caracterizado por um número muito grande de fatores, que deve ser reduzido a uma única variável que represente a combinação de todos estes valores. Neste sentido, índices de conforto térmico, agregam dois ou mais elementos climáticos, onde têm sido utilizados para se avaliar o impacto dos fatores ambientais sobre a produção animal.

Como resultante de outros estudos e pesquisas, em décadas seguintes foram criados os índices de conforto térmico que procuram englobar num parâmetro ao efeito das variáveis do ambiente. Em geral, esses índices são desenvolvidos, para fixar um tipo de atividade com a vestimenta utilizada pelo indivíduo. A partir daí relacionam-se as variáveis do ambiente e reúnem-se, em forma de cartas ou nomogramas, as diversas condições ambientais que proporcionam respostas iguais por parte dos indivíduos (Frota & Shiffer, 2007).

2.1.1. Índices de Conforto Térmico Humano

O Índice de conforto é um parâmetro que representa a combinação das variáveis de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar e calor radiante. Por meio dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um

ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas (Frota & Shiffer, 2001).

Como as condições de conforto térmico são predominantes para a sensação de satisfação com o ambiente construído, torna-se necessário o estabelecimento de critérios e valores de referência para a correta avaliação do ambiente térmico que a edificação propicia. Com o intuito de quantificar as reações do organismo humano frente às variações térmicas do ambiente, foram estruturados índices de avaliação que expressassem esta relação de causa e efeito (Rosseti, 2009).

Segundo Lamberts & Xavier (2002), o desconforto ou conforto térmico é um fundamento de estudos destinados à análise e atribuições de parâmetros necessários para avaliação e criação de um ambiente térmico apropriado às atividades humanas. Uma condição térmica apropriada para um indivíduo resume-se no seu bem-estar, isto é, na sensação térmica em que não são necessários esforços fisiológicos para manter a homeotermia.

A neutralidade térmica é um item integrante de bem-estar, por se tratar de uma condição em que o indivíduo apresenta equilíbrio entre a necessidade de conservação e dissipação de energia, ou seja, não há sensação de frio ou calor (Lamberts & Xavier, 2002).

As condições de conforto térmico é função das variáveis ambientais e humanas. As variáveis humanas são, o metabolismo gerado pela atividade física e resistência térmica oferecida pela vestimenta; as variáveis ambientais são, a temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Devem ser consideradas outras variáveis que também podem exercer influência nas condições de conforto de cada indivíduo, como o sexo, idade, raça, peso, altura, hábitos alimentares, adaptação ao clima local, entre outros (Nascimento, 2015).

A reunião destas variáveis propicia a perda de calor em maior ou menor quantidade do que aquela produzida pelo organismo, resulta em um ambiente considerado frio, quente ou ainda em neutralidade térmica, sensação de conforto, caso propicie a dissipação do calor na justa medida (Araújo, 2001).

Nas últimas décadas, inúmeras pesquisas foram desenvolvidas com a finalidade de avaliar o conforto dos ambientes ocupados por pessoas, e como

consequência, um grande número de índices de conforto térmico foram estabelecidos, podendo-se citar o Índice de Desconforto, que foi proposto por (Thom, 1959).

Uma versão alternativa do Índice de Desconforto (ID) é adaptada por Giles et al. (1990), sendo também denominado de índice de temperatura e umidade (ITU), em que o índice de desconforto (ID) é dado em ($^{\circ}\text{C}$), a temperatura ar (T_a) é dada em ($^{\circ}\text{C}$), e a umidade relativa (UR) é dada em termos percentuais (%).

A distribuição das zonas de conforto e desconforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas em função dos valores de ID (Tabela 1).

Esse índice é utilizado para avaliar o conforto humano em regiões de clima quente. Ele considera que a evaporação do suor é uma maneira natural de resfriar a temperatura do corpo. Quando o ar está muito úmido, contudo, a perda de calor por evaporação é reduzida. Por isso, um dia quente e úmido parecerá mais quente e desconfortável que um dia quente e seco.

Tabela 1. Distribuição das zonas de conforto e desconforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

ID ($^{\circ}\text{C}$)	Sensação Térmica (tipo de CT)	Grau de Estresse Fisiológico
< 13	Muito Frio	Extremo Estresse ao Frio
13 – 16	Frio	Tiritar
16 – 19	Frio Moderado	Ligeiro Resfriamento do Corpo
19 – 22	Ligeiramente Frio	Vasoconstrição
22 – 25	Confortável	Neutralidade Térmica
25 – 28	Ligeiramente Quente	Ligeiro Suor, Vasodilatação
28 – 31	Quente Moderado	Suando
31 – 34	Quente	Suor em Profusão
> 34	Muito Quente	Falha na Termorregulação, Estresse por Calor

Fonte: Fanger (1970).

Outro índice de conforto térmico humano muito utilizado é de Temperatura Efetiva (TE), que é indicado para ser utilizado em ambientes internos, sem condicionamento interno, sem levar em consideração os efeitos do vento, ele foi proposto por Missenard (1937), em que a temperatura efetiva

(TE) é dada em ($^{\circ}\text{C}$), a temperatura média do ar (T) é dada em ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa (UR) é dada em termos percentuais (%).

A distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas em função dos valores de TE (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

TE ($^{\circ}\text{C}$)	Sensação Térmica	Grau de Estresse Fisiológico
< 05	Muito Frio	Extremo Estresse ao Frio
05 – 10	Frio	Extremo Estresse ao Frio
10 – 13	Moderadamente Frio	Tiritar
13 – 16	Ligeiramente Frio	Resfriamento do Corpo
16 – 19	Pouco Frio	Ligeiro Resfriamento do Corpo
19 – 22	Ligeiramente Fresco	Vasoconstrição
22 – 25	Confortável	Neutralidade Térmica
25 – 28	Ligeiramente Quente	Ligeiro Suor, Vasodilatação
28 – 31	Quente Moderado	Suando
31 – 34	Quente	Suor em Profusão
> 34	Muito Quente	Falha na Termorregulação

Fonte: (MASTER, 2014).

Rosemberg (1983), desenvolveu o Índice de Conforto Humano (ICH) que é dado em ($^{\circ}\text{C}$), em função da temperatura ar (T_a) que é dada em ($^{\circ}\text{C}$), e a pressão de vapor (e_a) que é dada em (kPa).

Os resultados são comparados com a (Tabela 3) que classifica o grau de conforto térmico em função dos valores de ICH.

Tabela 3. Classificação do grau de conforto térmico em função dos valores de ICH.

ICH ($^{\circ}\text{C}$)	Grau de Conforto
20 – 29	Confortável
30 – 39	Grau de conforto variado
40 – 45	Desconforto suportável
46 ou mais	Desconforto insuportável

Fonte: Rosemberg (1983).

2.1.2. Índices de Conforto Térmico Animal

Os índices utilizados para animais surgiram na década de 50, quando Thom em 1959, desenvolveu o índice de temperatura e umidade (ITU). Outros índices como carga térmica radiante (CTR) e o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) podem expressar a sensação térmica dos animais em relação ao ambiente. Sendo que o ITGU é considerado o mais adequado para avaliar o conforto térmico do ambiente, nas condições em que os animais são expostos à radiação solar, uma vez que combinam os efeitos de temperatura de bulbo seco temperatura de bulbo úmido, radiação e velocidade do ar (Ferreira, 2005).

O (ITU) é um índice de conforto térmico muito utilizado em ambientes internos, pois é usado para avaliar a condição de conforto ambiental dos animais, ele considera as variáveis de temperatura do ar e umidade relativa, onde alerta os produtores quanto às condições climáticas desfavoráveis ou que tragam risco aos animais.

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU), proposto Thom (1959), é o mais conhecido e usado para conforto térmico animal, seu valor é considerado adimensional em função da temperatura bulbo seco (Tbs) que é dada em (°C) e a temperatura de ponto de orvalho (Tpo) que é dada em (°C).

A classificação dos valores do índice de temperatura e umidade (ITU) para animais (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação dos valores do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para animais.

ITU	Grau de Conforto
< 70	Confortável
71 – 78	Limite crítico
79 – 83	Situação de perigo
> 83	Situação de emergência

Fonte: Hahn (1985).

Segundo Castanheira (2008), poder-se definir as variáveis de conforto térmico como a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade

relativa, a velocidade do ar, a vestimenta e o metabolismo. Os índices de conforto térmico são parâmetros que tentam englobar todas essas variáveis em um só número, que permite caracterizar, de forma rápida, uma situação de conforto ou desconforto térmico.

Segundo Mader et al. (2010), os índices de conforto térmico, correlacionam os efeitos da temperatura do ar com a umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, com o intuito de desenvolver funções de resposta biológica, relacionados com a troca de energia e auxiliar no processo de tomada de decisão, que dependem das condições meteorológicas, que pode também servir como parâmetro de gestão para mitigar os efeitos ambientais para assegurar e proteger o conforto dos animais.

A avaliação dos índices de conforto térmico e da qualidade do ar na produção animal vem sendo referenciada como ponto de interesse em estudos de sistema de controle ambiental (Menegali et al., 2009), que foca tanto a saúde dos animais que vivem em total confinamento, como dos trabalhadores que permanecem de 4 a 8 horas por dia nesse ambiente de trabalho (Nääs et al., 2007), como também o bem-estar animal (Moura et al., 2010).

Segundo Silva et al. (2010), o ambiente é considerado confortável quando o animal se encontra em equilíbrio térmico, pois o calor produzido pelo metabolismo é perdido para o ambiente sem prejuízo da homeostase do animal.

As edificações devem assegurar a manutenção da homeotermia para manter o conforto térmico animal e garantir o bem-estar na produção com o mínimo gasto de energia (Santos et al., 2009).

Elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar no interior das instalações, especialmente no verão e nas horas mais quentes do dia, podem limitar a produtividade e o bem-estar das aves e afetar o desempenho final do lote e comprometer os aspectos econômicos da atividade (Carvalho, 2012).

Aproximadamente 60% da produção de frango de corte no Brasil está sujeito a condições adversas de temperatura, ou seja, desconforto térmico, especialmente em regiões que concentram altas temperaturas ao longo do ano (Nääs et al., 2010).

Fonseca et al. (2011) utilizaram os índices de conforto térmico para avaliação da influência térmica de abrigos individuais para bezerras leiteiras, cobertos com telha de zinco, telha de fibrocimento e fibrocimento pintada de branco na face superior, os resultados indicaram que as telhas com pintura reflexiva promoveram menor carga térmica radiante e menor índice de temperatura de globo e umidade, com isso favoreceu o conforto térmico dos animais.

Sampaio et al. (2011) falam que em relação aos ruminantes, principalmente os de raças bovinas, existe grande variação nos valores das temperaturas crítica superior e inferior, mais também nos valores dos índices de conforto.

Foi observado que vacas leiteiras tem a sua produção influenciada diretamente pelas condições ambientais em que estão inseridas, e que o sombreamento da sala de espera, pode contribuir para a elevação da produção de leite dos animais, onde a utilização destas estratégias fornecedoras de conforto térmico é de grande relevância para a pecuária leiteira (Rodrigues et al., 2010).

2.2. Modelos de escalas reduzidas

O desenvolvimento da teoria da similitude ocorreu a partir da metade do século XIX, quando teve início a utilização de modelos em escala que foram utilizados devidamente à necessidade de compreensão dos fenômenos físicos envolvidos em novas tecnologias geradas na indústria aeronáutica e naval (Jentsch, 2002).

Segundo Murphy (1950), as condições ideais para se trabalhar com modelos em processos termodinâmicos envolvem a similaridade entre as proporções de comprimento e largura do espaço em questão, além do conhecimento da variação de temperatura no modelo e sua eventual resposta em escala real.

A teoria dos modelos em escala reduzida, ou teoria da similitude, foi proposta por Murphy (1950), que classificou os modelos em quatro tipos.

Os modelos verdadeiros são aqueles que todas as características importantes são reproduzidas em escala e atendem a todos os critérios de projeto e condições de operação.

Os modelos adequados são aqueles que permitem uma predição aprimorada de apenas uma característica.

Os modelos dissimilares são aqueles em que não existe semelhança entre o modelo real e o modelo reduzido, mas que têm em comum, apenas características funcionais e estruturais.

Os modelos distorcidos são aqueles em que alguns critérios do projeto são alterados, onde se torna necessária a correção da equação de predição. Nesse usa-se mais de uma escala, normalmente uma escala para as dimensões horizontais e outra para as verticais.

Segundo Rizzatti et al. (2012), um dos grandes desafios da engenharia em geral é estudar modelos confiáveis que representem o comportamento das estruturas na escala real, que reduza os custos e as dificuldades que a escala real proporciona.

A utilização de modelos reduzidos no desenvolvimento de pesquisas, podem contribuir para a redução do custo e permitir realizar diferentes testes por alterações no modelo. Além disso, as edificações em escala real possuem grandes dimensões e há a necessidade de realizar repetições de natureza estatística, o que torna o seu uso inviável (Jentzsch, 2002).

Segundo Jentzsch et al. (2011), é possível prever as condições térmicas ambientais de um protótipo a partir de modelos físicos construídos em escala reduzida de até 12 vezes. Por razões técnicas, muitas vezes não é possível a reprodução exata de todos os detalhes físicos e geométricos, principalmente quando se usa modelos com escalas muito pequenas, sendo necessário trabalhar a similitude parcial.

Segundo Sampaio et al. (2011), várias pesquisas já foram realizadas por diversos autores para reproduzir e avaliar comportamento térmico de instalações construídas com diferentes materiais e sistemas de climatização. A maioria das pesquisas são desenvolvidas na área de conforto térmico para a produção animal, que envolve o estudo preliminar em modelos reduzidos.

Carneiro (2014), realizou uma pesquisa intitulada de tipos de cobertura para o acondicionamento térmico primário de instalações rurais, com o uso de modelos de escalas reduzidas, onde foi utilizado telhados verdes que reduziram a temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos. Foi observado que os telhados verdes (Tame; Tgra), promoveram maior atenuação da temperatura dos ambientes de (1,37 e 1,35 °C) em comparação com o telhado de fibrocimento (Tfib).

2.3. Termografia por infravermelho

A termografia é um método não-invasivo capaz de avaliar a temperatura através da energia emitida pela superfície do corpo humano ou de qualquer objeto e transformá-la em uma imagem visível ao olho humano (NG, 2009). Atualmente tem aplicações em inúmeros setores; na indústria automobilística, indústria aeronáutica, indústria química, aplicações na engenharia civil, na produção animal e medicina. Ela é definida como uma técnica de avaliação que detecta a radiação e possibilita a medição de temperaturas e a observação de padrões de distribuição de calor. Esta técnica pode ser utilizada em situações onde a variação de temperatura superficial indica alguma condição atípica em um sistema qualquer (Cerdeira et al., 2011).

A termografia infravermelha é uma técnica não destrutiva de imagens de sensoriamento remoto que vem sendo utilizada para detectar falhas em equipamentos elétricos e alterações em diferentes partes do edifício, como a cobertura, os sistemas estruturais, os sistemas de vedação em alvenaria e os revestimentos. Uma dessas alterações refere-se à detecção de excessos de umidade e temperatura, que são responsáveis por danos nos materiais, com reflexos na saúde dos usuários (Lerma, Cabrelles & Portalés, 2011).

A relação existente entre a energia emitida por um corpo real, em relação a um corpo negro, sob a mesma temperatura é conhecida como emissividade (Tabela 5).

Tabela 5. Valores típicos de emissividade para alguns materiais.

Descrição/Composição	Emissividade (ϵ)
Aço inoxidável – típico, polido	0,17
Alumínio – altamente polido, película	0,04
Água	0,96
Areia	0,90
Concreto	0,88 – 0,93
Janela de vidro	0,90 – 0,95
Materiais de construção – placas de amianto	0,93 – 0,96
Materiais de construção – tijolo, vermelho	0,93 – 0,96
Materiais de construção – estuque ou placa de gesso	0,90 – 0,92
Materiais de construção – madeira	0,82 – 0,92
Papel, branco	0,92 – 0,97
Pavimentação de asfalto	0,85 – 0,93
Rochas	0,88 – 0,95
Solo	0,93 – 0,96
Tecido	0,75 – 0,90
Tintas – pretas (Parsons)	0,98
Tintas – branca acrílica	0,90
Tintas – branca óxido de zinco	0,92
Vegetação	0,92 – 0,96

Fonte: Incropera e Dewitt, (2003).

A emissividade determina a maior ou menor quantidade de energia que um corpo emite em um dado comprimento de onda. Ela depende fortemente da superfície do material e de seu acabamento (Incropera et al., 2008). De forma simplificada, pode-se dizer que emissividade é a capacidade que um corpo tem de emitir radiação térmica, quando comparado a um corpo negro, que tem emissividade igual a 1, ou seja, tudo que ele recebe ele transmite. Portanto, a emissividade térmica é a relação entre a radiação emitida pela superfície e a máxima emissão teórica na mesma temperatura. Esses índices variam também de 0 (não irradia calor) a 1 (irradia todo o calor absorvido) (Libbra et al., 2009).

A quantidade total de radiação que o corpo emite depende da sua temperatura e da sua emissividade. Um corpo de emissividade elevada irradia mais energia que um corpo com emissividade baixa, à mesma temperatura. A radiação total de saída de um corpo independe de sua fonte original. Além da energia emitida do próprio corpo, existe a interferência de energias refletidas e transmitidas de outras fontes. Um corpo sempre será capaz de emitir, refletir e transmitir energia (Veratti, 2011). A soma dessas energias será igual a 1.

A técnica de termografia de infravermelho, é útil para detecção de problemas de inércia térmica em construções urbanas, recentemente também em edificações rurais, e consiste no uso de termo visores capazes de interceptar radiação de infravermelho emitida por uma superfície qualquer, convertida em imagens térmicas de distribuição de temperatura da superfície envolvida.

Atualmente, foram utilizadas para estudo de distribuição de temperatura de superfície de animais, identificação de eventos fisiológicos, diagnósticos de doenças e avaliações quanto à qualidade de carne (Bouzida et al., 2009).

Além da rápida utilização, a vantagem dessa técnica é que não existe a necessidade de conter o animal, nem o contato físico, nem o uso de sedativos e a leitura deve ser realizada à distância do animal (Cilulko et al., 2013).

Já Godyn et al. (2013) mencionaram que outras vantagens seriam pelo fato do equipamento ser leve e portátil, que mostra uma grande sensibilidade na variação da temperatura do animal. Portanto, a utilização da análise de termografia infravermelha torna possível identificar pontos de valores distintos de temperatura radiante e tem sido valiosa para o reconhecimento de eventos fisiológicos em animais (Bouzida et al., 2009).

Carneiro (2014), realizou uma pesquisa com modelos de escalas reduzidas, utilizando uma câmera termográfica, onde foi utilizado telhados verdes que reduziram a temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos. Foi observado através da câmera termográfica que os telhados verdes (Tame; Tgra) reduziram a temperatura da superfície interna das coberturas de (5,3 e 4,4 °C) em comparação com o telhado de fibrocimento (Tfib).

2.4. Materiais de cobertura

O telhado se destaca como elemento que pode reduzir significativamente a temperatura no interior das edificações e promover o conforto térmico dos animais (Faghieh & Bahadori, 2009). Diversos tipos de materiais de cobertura podem promover a redução de 30% ou mais da carga térmica radiante (Baêta & Souza, 2010). No caso das instalações zootécnicas é importante desenvolver tecnologias de baixo custo desde que proporcionem,

aos animais, condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento e produtividade sendo que o ambiente térmico de uma instalação sofre grande influência do telhado. Sampaio et al. (2011) consideram o telhado como o elemento construtivo mais importante de uma edificação em virtude da grande área de interceptação de radiação solar.

O telhado dispõe de condições para atenuar a carga térmica nas edificações, mas se ele não executa bem esta função poderá apresentar problemas enormes às instalações. Este é o elemento da instalação mais exposto ao céu e quase metade do calor ganho é através dele. Por outro lado, o telhado abre uma gama extensiva de possibilidades para dissipar o calor da instalação (Tanga & Etzionb, 2005). Os padrões de desempenho térmico dos telhados são necessariamente condicionados à realidade climática do local em que será inserida a instalação.

2.4.1. Telha de fibrocimento

O fibrocimento é um material cimentício muito utilizado na produção de telhas e caixas d'água. Desde a sua descoberta, vários estudos ocorrem para a melhoria dos seus constituintes e propriedades. Uma das melhorias foi a adição de fibras vegetais como reforço, que proporciona às matrizes cimentícias maior resistência ao impacto, causado por maior absorção de energia, além de um aumento na capacidade de isolamento termo acústico (Artigas, 2013).

Geralmente, a telha de fibrocimento e cerâmica são as mais utilizadas nas instalações. No entanto, telhas de fibrocimento aquecem muito ao sol, e é necessário, portanto, a utilização de algum tipo de artifício como pintura da parte externa para ajudar a diminuir a carga térmica radiante (Sarmiento et al., 2005).

Segundo Jácome et al. (2007), ao avaliarem os índices de conforto térmico, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR) em diferentes materiais de cobertura para edificações de poedeiras no nordeste do Brasil, constataram que telhados de telha cerâmica apresentaram resultados melhores de carga térmica de radiação nos horários

mais quentes do dia, quando comparados com telhados de fibrocimento, porém não observaram diferenças significativas nas variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e índice de temperatura de globo negro e umidade.

Fiorelli et al. (2009), utilizaram protótipos de instalações zootécnicas com coberturas de telha reciclada à base de embalagens longa vida, telha cerâmica, telha cerâmica pintada de branco e telha de fibrocimento, apresentaram resultados que indicaram que a telha reciclada proporcionou índices de conforto térmico semelhantes àqueles encontrados para as telhas cerâmicas, portanto, pode então recomendá-la como opção de cobertura com vista às instalações zootécnicas.

2.4.2. Telhado verde

Segundo Dinsdale, Pearen & Wilson (2006), a cobertura verde mais antiga e famosa foram os Jardins Suspensos da Babilônia, considerado uma das sete maravilhas do mundo antigo. Construído possivelmente por volta de 600 a. C., cobria uma área de 2000 m² com árvores, arbustos e trepadeiras.

Nos climas frios da Islândia, Escandinávia, Estados Unidos e Canadá, as coberturas verdes auxiliam na retenção de calor no edifício, já em climas quentes como o da Tanzânia contribui para manter o calor externo à edificação (Minke, 2003).

Nas últimas décadas, crescem a preocupação em relação à temática ambiental e, conseqüentemente, a preocupação de conscientizar, sensibilizar e modificar as atitudes da população em relação ao ambiente. O cidadão é um dos principais responsáveis por manter saudável e livre de riscos à vida na terra e por preservar o ambiente (Krunitzky, 2009).

Para Montaner (2012), o desafio atual consiste em demonstrar que a arquitetura verde, além de necessária e adequada socialmente, pode ser altamente atraente do ponto de vista estético, conceitual e cultural.

A vegetação tem sido utilizada como estratégia de condicionamento ambiental, que integra um conjunto de estratégias bioclimáticas, que induz ao surgimento de novas pesquisas e buscam diferentes formas de trazer a vegetação do campo para as cidades (Perini & Magliocco, 2012).

Os telhados verdes são definidos pela aplicação de uma cobertura vegetal sobre as edificações. Segundo Silva (2011), seu plantio é feito preferencialmente em coberturas planas, porém, existem módulos disponíveis no mercado que permitem a sua instalação em sistemas inclinados.

É comum dividir os telhados verdes em três classes principais: extensivos, semi-intensivos e intensivos (Tabela 6). Diferem-se principalmente pela espessura do substrato, também pelo tipo de planta, profundidade das raízes e intensidade de manutenção.

Tabela 6. Classificação geral das coberturas verdes.

	Cobertura Verde Extensiva	Cobertura Verde Semi-Intensiva	Cobertura Verde Intensiva
Manutenção	Baixa	Média	Alta
Irrigação	Não precisa	Periodicamente	Regularmente
Tipos de Plantas	Musgos, herbáceas e gramíneas	Gramíneas-herbáceas e arbustos	Gramado permanente, árvores e arbustos
Altura do sistema Construtivo	6–20 cm	12–25 cm	15–40 cm
Peso	60–150 kg m ⁻²	120–200 kg m ⁻²	180–500 kg m ⁻²
Custo	Baixo	Médio	Alto
Uso	Proteção ecológica	Cobertura verde com design	Jardim tipo parque

Fonte: IGRA (2014).

As coberturas verdes extensivas se caracterizam por substratos menos espessos, vegetação rasteira e camadas entre 2,5 e 15 cm de espessura, evidentemente, não comportam raízes longas. Podem ser suportados por estruturas leves mesmo quando saturados, que exige pouca ou nenhuma manutenção e com menor custo (Oliveira, 2009). Ao contrário dos intensivos, não podem ser cultivados e só suportam trânsito para manutenção, por serem estruturas frágeis (Minke, 2005).

As coberturas verdes semi-intensivas são intermediárias entre intensivos e extensivos, com vantagens e desvantagens de ambos. Têm substrato mais espesso que os extensivos, proporciona o plantio de espécies arbustivas e de cultivo de alimentos, com espessura entre 12 e 25 cm e necessidade de periódica manutenção e irrigação (IGRA, 2014).

As coberturas verdes intensivas têm substrato mais espesso, com camadas entre 20 cm e 40 cm de espessura, que permite o crescimento de vegetação mais densa e até lenhosa, o que limita a declividade e requer manutenção frequente, boa irrigação e custo alto (Minke, 2005). Exigem estruturas de base altamente resistentes, daí permitirem uso para convivência e recreação. Oferecem outras vantagens específicas, tais como a possibilidade de plantio e cultivo de alimentos (Oliveira, 2009).

O telhado verde é utilizado como uma alternativa, que apresenta baixo custo de manutenção, mas que causa impactos significativos no desempenho térmico da edificação, pois favorece a obtenção de temperaturas amenas em seu interior, onde diminui a dependência da utilização de sistemas de condicionamento artificial (Parizotto & Lamberts, 2011).

A cobertura verde também confere melhorias quanto ao conforto térmico (Beyer, 2007) e acústico (Renterghem & Botteldooren, 2009), já que a vegetação e o solo atenuam tanto a transmissão de calor como de ruído para o interior da edificação (Gibbs et al., 2006).

Segundo Gonçalves (2009), umas das principais vantagens do uso de telhados verdes em edificações é a redução do estresse térmico e da recepção de radiação ultravioleta da cobertura da edificação para proporcionar uma melhor conservação do material e da impermeabilização da cobertura; diminuição da carga térmica sobre a edificação para diminuir a demanda pelo uso de equipamentos de climatização; absorção de água da chuva para diminuir a sobrecarga no sistema de drenagem; redução da poluição do ar, através da absorção da radiação solar e transformação do CO₂ em O₂ pela fotossíntese e absorção de ruídos.

O projeto deve conter manta de retenção, para impedir que o substrato deslize, mantas de impermeabilização para evitar infiltrações na casa, dutos de irrigação e drenagem que também devem fazer parte do projeto do telhado

verde, assim como, elementos que permitam a vegetação atingir baixa densidade e boa retenção da água da precipitação pluviométrica (Figura 1). A escolha da vegetação adequada é fator importante na eficiência do telhado verde, a vegetação deve se adaptar às mudanças bruscas de temperatura, devido à exposição direta ao sol, chuva, vento, geada, entre outras (Silva, 2011).

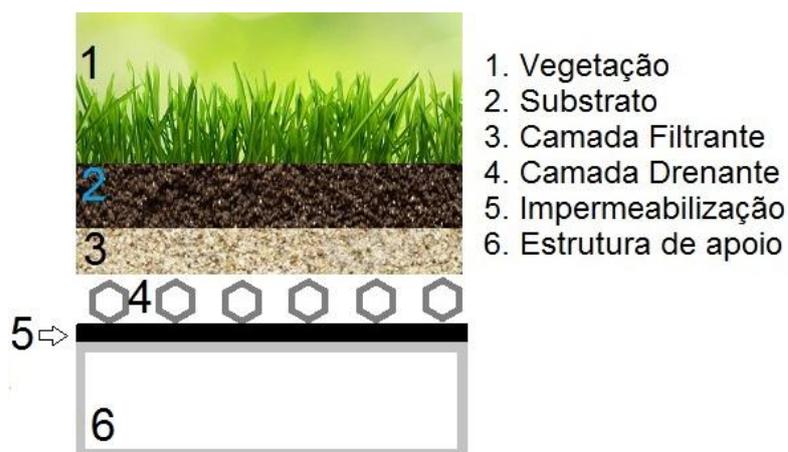


Figura 1. Estrutura básica de implantação de um telhado verde.

Santos et al. (2013) simularam a dinâmica da água em dois telhados verdes com vegetações distintas para diferentes intensidades de precipitação na região de Pernambuco e foi verificado uma redução no escoamento superficial de até 30% do total precipitado.

Segundo Parizotto & Lamberts (2011), em uma pesquisa na cidade de Florianópolis, no período da primavera e verão, o telhado verde reduziu o ganho de calor em 37% em relação ao telhado cerâmico e 63% em relação ao telhado metálico e aumentou a perda de calor em 22% em relação ao telhado cerâmico e 22% em relação ao telhado metálico. Já no período do outono e inverno, o telhado verde reduziu o ganho de calor em 94% em relação ao telhado cerâmico e 88% em relação ao telhado metálico e aumentou a perda de calor em 65% em relação ao telhado cerâmico e 30% em relação ao telhado metálico.

2.4.2.1. Espécies vegetais utilizadas no telhado verde

Segundo Carneiro (2014), a escolha das espécies vegetais que formarão o telhado verde é uma etapa muito importante, pois é ela que condiciona a camada de substrato que irá utilizar, em que tipo de estrutura de telhado a planta ficará, porque o vegetal se torna uma carga adicional sobre a estrutura. Também é importante a análise do clima da região, pois este determinará a necessidade de irrigação ou não da espécie de planta escolhida.

Foram selecionadas três espécies por ocorrerem naturalmente na região metropolitana do Recife, por apresentarem porte inferior a 0,50 m, serem de boa capacidade de cobertura do solo e propagação vegetativa, sendo critérios importantes para seleção e avaliação de espécies para uso em telhados verdes.

Carneiro (2014), também afirma que para se obter uma cobertura vegetal de boa qualidade e com poucos cuidados, é utilizar espécies nativas, que possuem um fácil acesso e uma boa disponibilidade, que tem melhor adaptação aos climas locais, pois possuem um fácil desenvolvimento. As espécies que cumprem satisfatoriamente este papel são a chanana (*Turnera subulata*), a margaridinha (*Sphagneticola trilobata*) e a salsa (*Ipomoea asarifolia*).

A chanana (*Turnera subulata*) é um arbusto denso perene, com folhas lanceoladas e suas flores são formadas por pétalas brancas-amareladas, suas flores se abrem logo pela manhã, depois de receber a luz direta do sol, e se fecham após o meio-dia (Short & Cowie, 2011). No Brasil é conhecida como chanana, ela é de fácil cultivo e bastante adaptável aos diversos climas, podendo resistir até uma temperatura de 85°C em algumas ocasiões (Arbo, 2007).

É cultivada como ornamental, contudo é muito persistente tornando-se planta invasora, pois infestam-se em pastagens, beiras de estradas e terrenos baldios; também tem uso medicinal (Lorenzi, 2000). A estaquia da *Turnera subulata* é uma das formas de propagação vegetativa que mantém as características dos indivíduos selecionados e tem como vantagem a abundância de materiais propagativos (Schlindwein & Medeiros, 2006). Possui

floração o ano todo, o que condiciona essa espécie nativa do Brasil para o uso no revestimento de telhados verdes.

A margaridinha (*Sphagneticola trilobata*) é uma planta herbácea perene, da família das Asteraceae, nativa de quase toda a costa do Brasil, possui folhagem decorativa, com folhas simples, trilobadas e amarelas, formadas durante quase o ano todo. É cultivada como forração a pleno sol ou a meia-sombra. É adequada para revestimento de taludes ou barrancos. É tolerante a locais úmidos e inundáveis, bem como a terrenos secos e bem drenados. Multiplica-se facilmente através de mudas (Lorenzi & Souza, 2008). É uma espécie vegetal adequada para revestimento de telhados verdes.

A salsa (*Ipomoea asarifolia*) é uma planta herbácea perene, da família das Convolvulaceae, nativa do Brasil. Folhas firmes, alternas e cor-de-rosa, formadas no verão. Nativa em lugares úmidos como margens de lagoas e em praias, adequada para cultivo em armações ou para cobrimento de cercas (Lorenzi & Souza, 2008). Multiplica-se facilmente através da propagação das suas sementes, sendo uma espécie que possui condição para revestir os telhados verdes.

Segundo Medeiros (2014), a vantagem de se utilizar espécies nativas e não espécies exóticas, é que as nativas servem de alimento para a flora local, dificilmente são exterminadas por pragas e servem de abrigo e local de construção de ninhos para os pássaros nativos.

Para uma redução eficiente dos fluxos de calor para o interior da edificação, no verão, devem-se utilizar plantas com muitas folhas, preferencialmente horizontais e utilizar solo leve e aerado, como turfa, para aumentar o atraso térmico (Del Barrio, 1998).

Segundo Alves & Biudes (2011), a presença de plantas, pode desempenhar funções de sombreamento e absorção de parte dos raios solares, que ameniza o clima local, por isso a importância das áreas vegetadas para a redução das ilhas de calor, pois podem contribuir para o controle da incidência solar e consequente redução de temperatura durante o dia e aumento da umidade do ar, atuando, ainda, no controle da ação dos ventos e das chuvas.

Em estudo realizado na Universidade Federal do Mato Grosso, em Cuiabá, Alves & Biudes (2011) constataram a diminuição da temperatura do ar acima de 3 °C na média da temperatura do ar encontrada em áreas que apresentavam mais vegetação 35,6 °C em relação às áreas com menor índice de vegetação, cuja média de temperatura do ar chegou a 38,9 °C.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área

A pesquisa foi realizada no período de 01 de abril a 31 de maio de 2015, com 61 dias de duração, na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no município de Recife-PE, com latitude 8° 04' 03" S, longitude 34° 55' 00" W e altitude 4 m.

O clima da região é caracterizado como megatérmico (As') com precipitação de inverno e com estação seca do verão até outono, segundo classificação de Köppen (Pereira et al., 2002). Recife possui temperatura média anual de 25,5 °C, onde as temperaturas mais elevadas são em janeiro, com média de 27 °C e julho é o mês de menores temperaturas, com média de 24 °C (Sentelhas et al., 1999).

A área onde o experimento foi montado possui 396 m² com dimensões de 22 m de largura por 18 m de comprimento, em terreno plano, nivelado, gramado e livre de sombreamento.

3.2. Descrição dos modelos reduzidos

Foram utilizados modelos reduzidos e distorcidos das instalações na orientação norte-sul 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 2,0 m de comprimento (Figura 2A e 3A), 1,0 m de largura (Figura 2B e 3B) e 1,4 m de pé direito e distanciados 2,0 m entre si, segundo dimensões reais de um galpão com 20 m de comprimento por 10 m de largura e 2,8 m de pé direito.

A estrutura do modelo reduzido é formada por pilares de tubos de PVC concretados, com fechamento lateral com chapas de fibras de madeira, sobrepostas, com 2,0 x 1,10 m cada, ripas de madeira para suporte do telhado e piso de concreto (Figura 3C).

Utilizou-se telhas de fibrocimento com 4 mm de espessura e dimensões de 0,50 m x 2,10 m, divididas em três partes iguais de 0,50 m x 0,70 m, totalizando três telhas para cada modelo reduzido. (Figura 4).

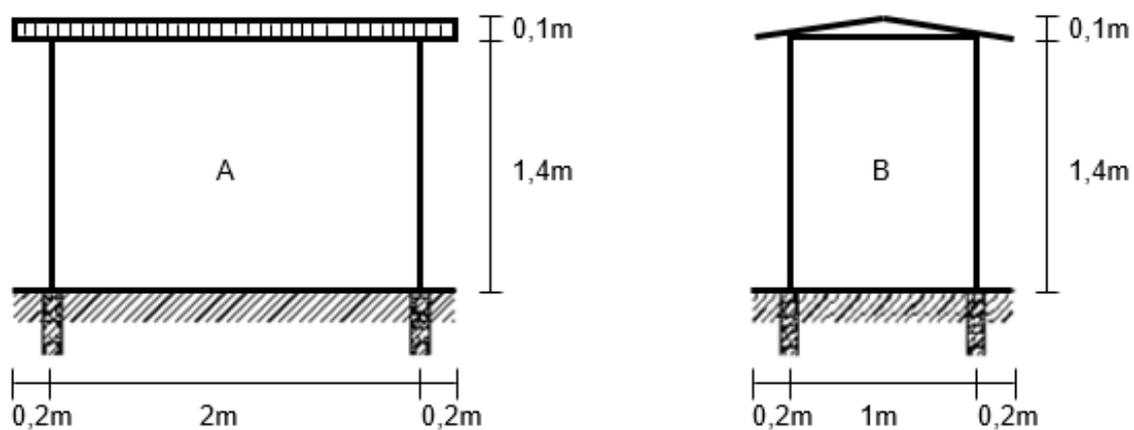


Figura 2. Vista lateral (A) e frontal (B) do modelo em escala reduzida.

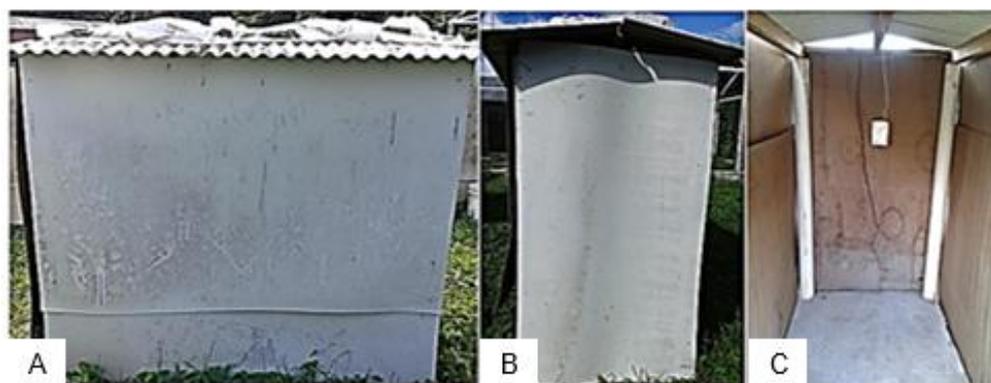


Figura 3. Modelo em escala reduzida. (A) lateral; (B) frontal; (C) interior.



Figura 4. Telhado de fibrocimento do modelo em escala reduzida.

3.2.1. Montagem do telhado verde

Para a implantação do telhado verde foi necessário, além das telhas de fibrocimento (Figura 5A) como suporte, lona plástica (Figura 5B), bandejas de polietileno (Figura 5C), para plantio da vegetação com substrato rico em matéria orgânica (Figura 5D), onde foram utilizadas 20 bandejas para cada modelo reduzido, as bandejas possuem 0,40 m de comprimento por 0,30 m de largura e 0,07 m de altura.

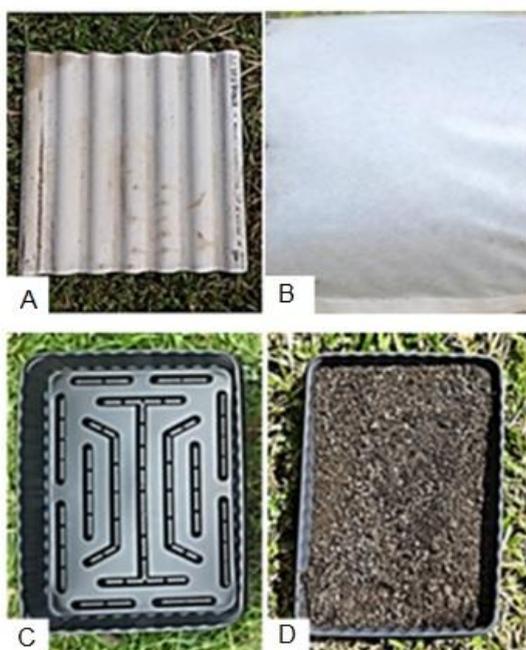


Figura 5. Componentes para implantação do telhado verde. (A) telhas de fibrocimento; (B) lona plástica; (C) bandejas de polietileno; (D) substrato rico em matéria orgânica.

Os telhados verdes foram do tipo extensivos, onde foram selecionadas três espécies por ocorrerem na região metropolitana do Recife, por apresentarem porte inferior a 50 cm de altura, boa capacidade de cobertura do solo e boa propagação vegetativa, critérios importantes para seleção e avaliação de espécies para uso em telhado verde. As espécies foram coletadas em áreas públicas da região Metropolitana do Recife, a Chanana (*Turnera subulata*) foi coletada em Jaboatão dos Guararapes, a Margaridinha (*Sphagneticola trilobata*) na UFRPE em Recife e a Salsa (*Ipomoea asarifolia*) em Aldeia-Camaragibe. O material propagativo foi preparado no Laboratório de

Floricultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco da seguinte forma, para a chanana e Margaridinha utilizou-se estacas de aproximadamente 8 cm sem folhas, já para a salsa utilizou-se estacas de aproximadamente 8 cm com uma folha. As bandejas foram forradas com jornal e preenchidas na altura de 0,05 m com substrato e em seguida realizou-se o plantio de nove estacas de cada espécie por bandeja.

Os telhados foram cobertos por uma lona plástica. Em seguida as bandejas vegetadas com Chanana (Figura 6A e 6D), Margaridinha (Figura 6B e 6E) e Salsa (Figura 6C e 6F), foram colocadas sobre os telhados de fibrocimento dispostas de forma a preencher todo o telhado e com irrigação manual por meio de um regador realizada duas vezes por dia, a quantidade de água usada na irrigação foi 500 ml para cada bandeja.

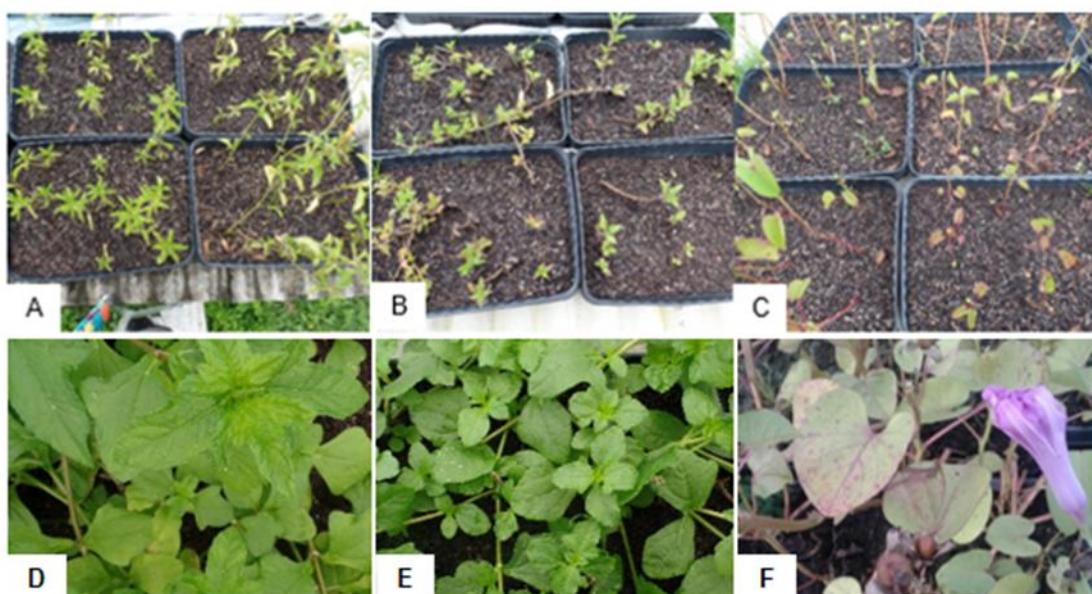


Figura 6. Bandejas com chanana (A, D); margaridinha (B, E) e salsa (C, F), sobre os telhados de fibrocimento.

A área experimental (Figura 7), teve manutenção periódica, onde a grama do terreno foi aparada a cada 21 dias, para evitar influência do gramado nos dados coletados.



Figura 7. Área experimental com os modelos reduzidos.

3.3. Instalação dos sensores e coleta de dados

Os sensores foram instalados no centro geométrico dos modelos reduzidos (Figura 8A), a 1,0 m do piso e 1,0 m da entrada. As variáveis meteorológicas de temperatura do ar (T_a , °C) e umidade relativa do ar (UR, %), foram registradas no interior dos modelos reduzidos por meio de sistemas automáticos de aquisição de dados (dataloggers) modelo HOBO U12-2 (Figura 8B).

No ambiente externo as variáveis meteorológicas foram registradas por uma estação meteorológica automática (Figura 9), localizada a 50 m da área do experimento.

Os dados instantâneos foram coletados a cada 5 s e registrados a média a cada 15 min no decorrer de todo período experimental.



Figura 8. Sensor no centro geométrico no interior do modelo reduzido (A); Datalogger (B).



Figura 9. Estação meteorológica automática.

3.4. Termografia

Para análise térmica do telhado dos modelos reduzidos, foram utilizadas imagens térmicas, obtidas a partir da superfície interna dos telhados, no centro geométrico dos modelos reduzidos perpendicular à superfície. Para padronizar a distância entre a câmera e a superfície analisada, foi utilizada a distância de 1,0 m entre a câmera e a parte interna dos telhados (Figura 10A). No mesmo instante foram registradas as variáveis termohigrométricas de cada modelo reduzido.

As imagens foram obtidas por meio de uma câmera termográfica, modelo FLIR i60 (Figura 10B), registradas em dias que não ocorreram chuvas, três vezes por dia nos horários das 9, 12 e 15 h e analisadas uma vez por semana, durante o período experimental. A análise das imagens foi realizada pelo programa computacional FLIR QuickReport, em que foram ajustados as variáveis termohigrométricas e valor da emissividade 0,92 para os telhados de fibrocimento (ISSO-SYSTEMS, 2014).



Figura 10. Registro das imagens termográficas no interior do modelo reduzido (A); Câmera termográfica (B).

A caracterização térmica das instalações foi realizada por meio do registro das variáveis meteorológicas nos ambientes estudados, onde foram determinados os índices de conforto térmico humano e conforto térmico animal.

3.4.1. Índice de conforto térmico humano

Foram determinados o índice de Desconforto (ID) proposto por Giles et al. (1990) (Eq. 1), Temperatura Efetiva (TE) proposto por Missenard (1937) (Eq. 2) e o Índice de Conforto Humano (ICH) proposto por Rosenberg (1983) (Eq. 3).

$$ID = Ta - 0,55 (1 - 0,01UR)(Ta - 14,5) \dots \dots \dots \text{Eq. 1}$$

em que:

ID = índice de Desconforto (°C);

Ta = temperatura do ar (°C);

UR = umidade relativa (%).

$$TE = T - 0,4 \left[\left(1 - \frac{UR}{100} \right) \right] (T - 10) \dots \dots \dots \text{Eq. 2}$$

em que:

TE = temperatura efetiva (°C);

T = temperatura do ar (°C);

UR = umidade relativa do ar (%).

$$ICH = Ta + \frac{5}{9}(ea - 10) \dots \dots \dots \text{Eq. 3}$$

em que:

ICH = índice de conforto humano (°C);

Ta = temperatura do ar (°C);

ea = pressão de vapor (kPa).

$$ea = \frac{(es \times UR)}{100} \dots\dots\dots \text{Eq. 3.1}$$

em que:

ea = pressão de vapor (kPa);

es = pressão de vapor do ar saturado (kPa);

UR = umidade relativa do ar (%).

$$es = 0,611 \times 10^{[(7,5 \times Ta)/(237,3 + Ta)]} \dots\dots\dots \text{Eq. 3.2}$$

em que:

es = pressão de vapor do ar saturado (kPa);

Ta = temperatura do ar (°C).

3.4.2. Índice de conforto térmico animal

Foi determinado o índice de Temperatura e Umidade (ITU) proposto por Thom (1959) (Eq. 4).

$$ITU = Tbs + 0,36 Tpo + 41,5 \dots\dots\dots \text{Eq. 4}$$

em que:

ITU = índice de temperatura e umidade;

Tbs = temperatura de bulbo seco (°C);

Tpo = temperatura de ponto de orvalho (°C).

$$Tpo = (237 * \text{Log}(ea/0,611)) / (7,5 - \text{Log}(ea/0,611)) \dots\dots\dots \text{Eq. 4.1}$$

em que:

Tpo = temperatura de ponto de orvalho (°C);

ea = pressão de vapor (kPa).

3.5. Análise dos dados

Os dados obtidos no experimento, relativos às variáveis micrometeorológicas e aos índices de conforto, foram analisados de modo a se identificar os efeitos causados pelos diferentes tratamentos. O efeito das coberturas utilizadas também foi avaliado com relação à temperatura do ar e umidade relativa do ar, comparando-se os dados coletados nos modelos em escalas reduzidas com aqueles medidos externamente. Foram determinadas as relações entre as variáveis registradas nos modelos reduzidos e no ambiente externo, estabelecida pela análise de regressão, para o período todo, na escala de 15 min.

A análise estatística para os índices de conforto térmico nos determinados modelos reduzidos, admitiu-se delineamento inteiramente casualizado, em que foram utilizados 4 tratamentos, telhado verde com chanana (*Turnera subulata*) (TVc), telhado verde com margaridinha (*Sphagneticola trilobata*) (TVm), telhado verde com salsa (*Ipomoea asarifolia*) (TVs) e telhado de fibrocimento (Tfib), com 4 repetições, o que totalizou 16 modelos em escala reduzida e distorcida (Figura 11), de acordo com o modelo matemático (Eq. 5).

Para comparação entre as médias utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Foi utilizado o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS, 2009).

$$y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \dots \dots \dots \text{Eq. 5}$$

em que:

y_{ij} = valor de cada observação;

μ = média geral;

t_i = efeito do tratamento;

e_{ij} = efeito do erro associado a cada observação.

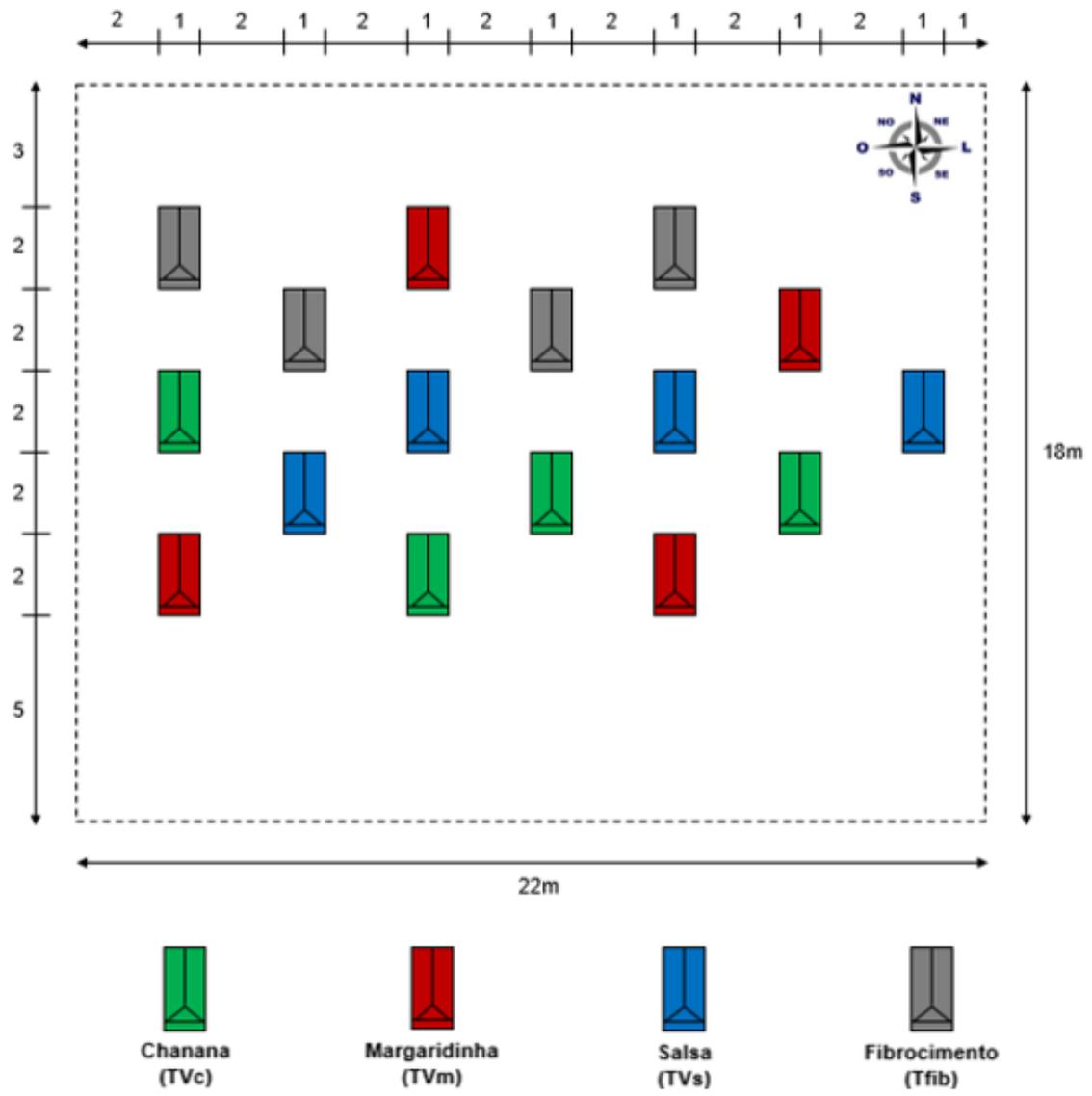


Figura 11. Disposição dos modelos reduzidos na área experimental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 12 apresenta a relação funcional da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos submetidos ao telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), telha de fibrocimento (Tfib) e a temperatura do ar no ambiente externo (Text), que apresentou coeficientes de correlação (R^2) de 0,90 para TVc; 0,86 para TVm; 0,87 para TVs e 0,84 para Tfib, o que indica boa associação linear entre as variáveis estudadas.

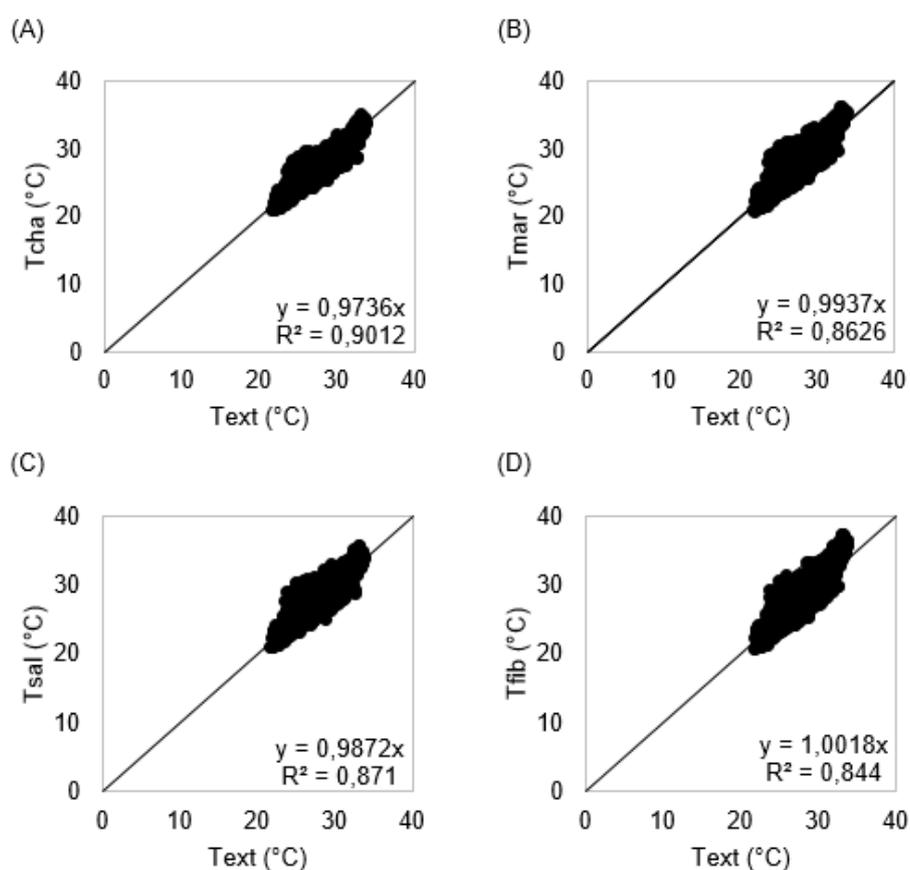


Figura 12. Relação funcional entre a temperatura nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (Tcha) - A, margaridinha (Tmar) - B, salsa (Tsal) - C e fibrocimento (Tfib) - D e a temperatura do ambiente externo (Text).

Os valores dos coeficientes angulares das equações das temperaturas do ar foram 3; 1 e 1%, nos modelos reduzidos com telhado verde (TVc, TVm e TVs), inferiores ao ambiente externo (Text). A telha de fibrocimento apresentou temperatura do ar próxima ao ambiente externo. Para Carneiro (2014), os

valores da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos foram 6% (Tame), 8% (Tgra), 8% (Tfib) e 6% (Trec) superiores em relação ao ambiente externo.

A temperatura média diária do ar no interior dos modelos reduzidos apresentaram valores da ordem de 27,36 °C para o modelo reduzido submetido ao telhado verde com chanana (TVc); 27,88 °C para margaridinha (TVm) e 27,72 °C para salsa (TVs). O modelo reduzido que não dispunha de cobertura verde apresentou temperatura média diária do ar de 28,07 °C para telhado de fibrocimento (Tfib). Portanto, a temperatura do ar foi inferior nos modelos reduzidos com telhado verde, quando comparados ao modelo reduzido com telha de fibrocimento exposto as intemperes e, apresentaram diferenças de 0,71 °C; 0,19 °C e 0,35 °C, respectivamente (Figura 13).

Os registros da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos com telhado verde (TVc, TVm e TVs) também apontaram menores valores quando comparados ao ambiente externo (28,12 °C), com diferenças de 0,76 °C; 0,24 °C e 0,40 °C, respectivamente (Figura 13).

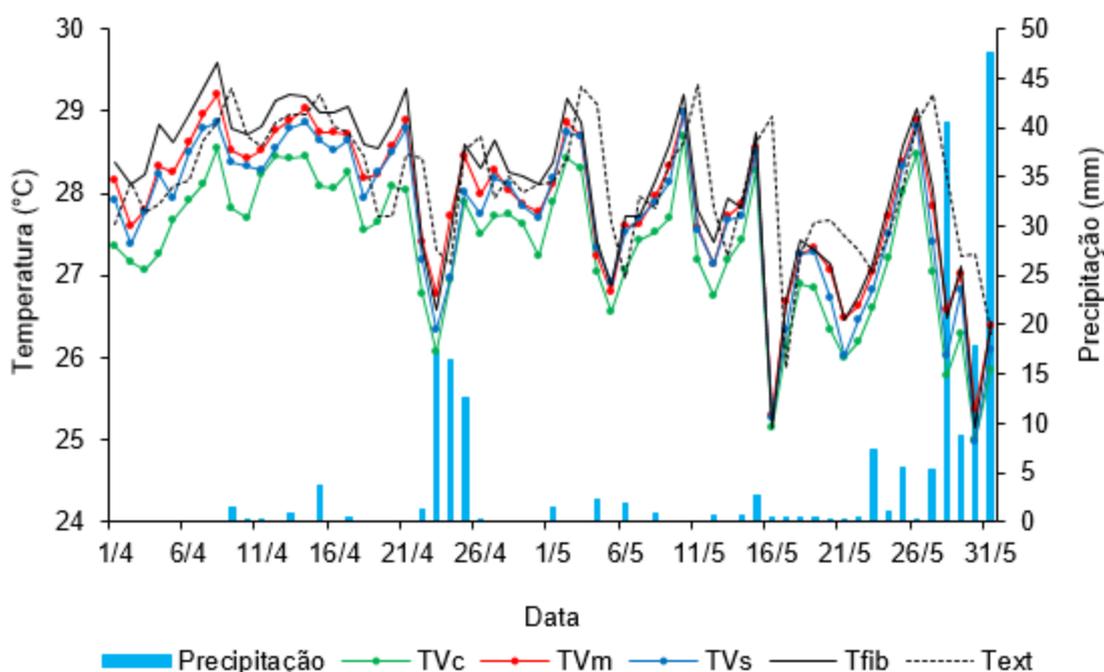


Figura 13. Variação média diária da temperatura do ar nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs) e fibrocimento (Tfib), ambiente externo (Text) e precipitação.

Foi observado que o telhado verde com chanana (TVc) apresentou um desempenho térmico superior aos modelos reduzidos submetidos ao telhado verde com margaridinha (TVm) e telhado verde com salsa (TVs). Isso provavelmente ocorreu devido ao melhor fechamento foliar da chanana em relação aos demais, o que reduziu a transmissão de energia para o interior do modelo reduzido, com consequente diminuição da temperatura do ar, pois parte dessa energia foi utilizada no processo de fotossíntese e evapotranspiração (Morais, 2004).

Segundo Akutsu et al. (2005), a temperatura superficial dos sistemas de cobertura influencia diretamente sobre a temperatura interna do ambiente, que nesse caso o telhado verde apresenta desempenho mais satisfatório em relação à telha de fibrocimento.

Verifica-se na Figura 14, que a temperatura média do ar para o dia crítico foi de 27,89 °C, que apresentou valores da ordem de 27,19 °C (TVc); 27,58 °C (TVm) e 27,54 °C para (TVs), ambas inferiores ao registrado no modelo reduzido coberto com telha de fibrocimento (Tfib) que apresentou temperatura de 27,80 °C. As diferenças observadas em comparação ao Tfib foram de 0,61; 0,22 e 0,26 °C, para TVc, TVm e TVs, respectivamente.

A temperatura média do ar registrada nos modelos reduzidos submetidos ao TVc, TVm e TVs, também foram inferiores ao ambiente externo (27,89 °C), em que apresentaram diferenças de 0,70; 0,31 e 0,35 °C, respectivamente. O telhado verde foi eficiente na redução da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos, quando comparados àquele com telhado de fibrocimento (Tfib), no intervalo horário de maior disponibilidade de radiação solar, entre 10 h e 15 h (Figura 14). Observa-se que o pico de temperatura do ar no ambiente externo (Text) ocorreu às 11 h (33,53 °C), entretanto, para os modelos reduzidos com telhado verde, verificou-se essa ocorrência às 14 h. Esse atraso térmico pode ser explicado pela atenuação da radiação solar pela superfície vegetada que reduz a transferência de energia por condução para o interior dos modelos reduzidos, o que minimiza o aporte térmico para o aumento da temperatura do ar.

A temperatura máxima do ar registrada no interior dos modelos reduzidos foram de 34,04 °C (TVc); 34,48 °C (TVm) e 34,39 °C (TVs). Esses

valores foram inferiores a temperatura no modelo reduzido Tfib, onde foi registrado temperatura máxima de 35,16 °C, ou seja, superior em 1,12 °C; 0,68 °C e 0,77 °C, comparado a TVc, TVm e Tvs, respectivamente (Figura 14).

Segundo Romero (2000) em seu experimento a variação térmica ocasionada pela presença do telhado verde mostrou-se eficiente na redução da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos, comparados ao modelo reduzido coberto com telha de fibrocimento e o ambiente externo, pois, no intervalo horário de maior disponibilidade de radiação, o telhado verde promoveu redução da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos de até 4°C.

A presença de espécies vegetais na cobertura dos modelos reduzidos reduz a transmissão de energia para o seu interior, decorrente da absorção de parte da radiação solar incidente sobre as plantas, que utilizam essa energia para desencadear reações metabólicas e realizar trocas gasosas com o ambiente externo.

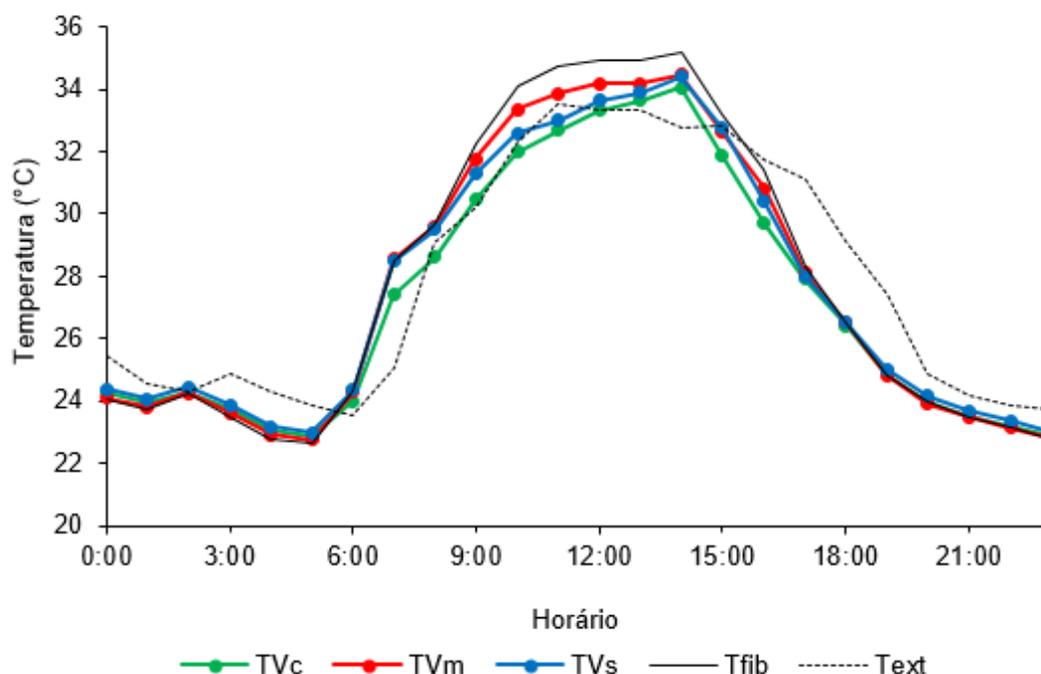


Figura 14. Variação média horária da temperatura do ar nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib) e do ambiente externo (Text).

A Figura 15 mostra a relação funcional da umidade relativa do ar no interior dos modelos reduzidos submetidos ao telhado verde de chanana (URcha), margaridinha (URmar), salsa (URsal), telha de fibrocimento (URfib) e a umidade do ar no ambiente externo (URext), que apresentou coeficientes de correlação (R^2) de 0,92 para TVc; 0,93 para TVm; 0,88 para TVs e 0,91 para Tfib, o que indica boa associação linear entre as variáveis estudadas.

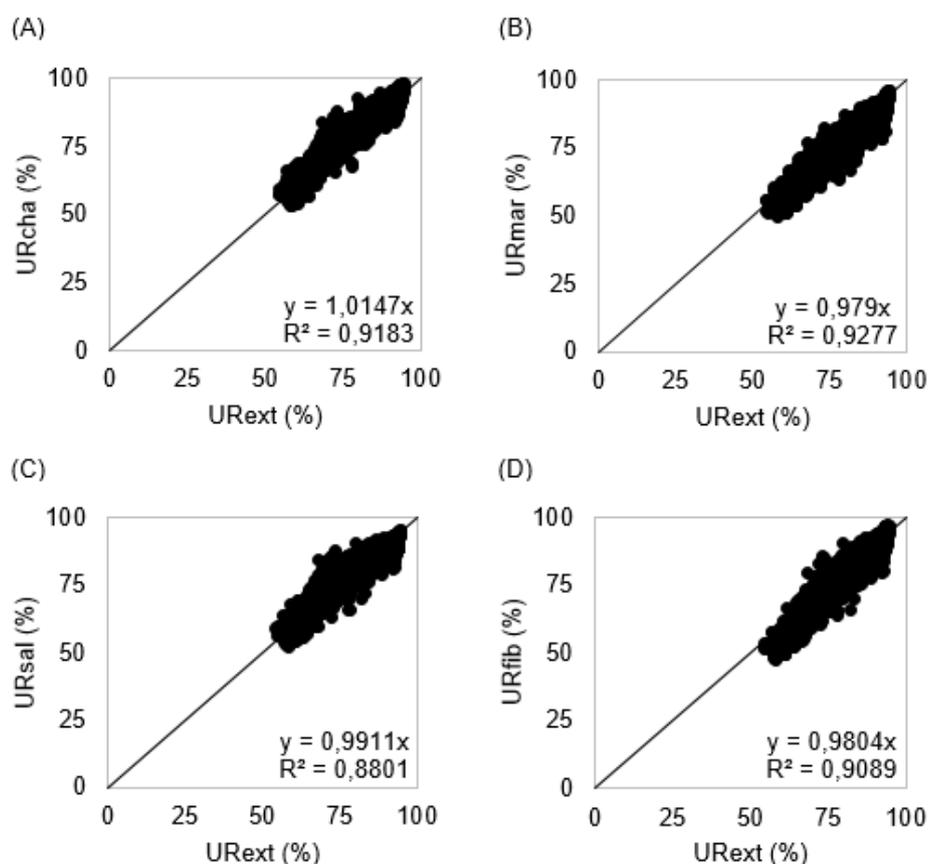


Figura 15. Relação funcional entre a umidade relativa nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (URcha) - A, margaridinha (URmar) - B, salsa (URsal) - C e fibrocimento (URfib) - D e a umidade relativa do ambiente externo (URext).

O valor do coeficiente angular da equação da umidade relativa do ar foi 1% superior no modelo reduzido TVc comparado ao ambiente externo (Text), já para as demais equações (TVm, TVs e Tfib) verificou-se valores da ordem de 2; 1 e 2% inferiores a umidade relativa do ar no ambiente externo. Segundo Carneiro (2014), os valores da umidade relativa média do ar nos modelos

reduzidos foram superiores ao do ambiente externo (73,26%), com valores de 80,59% (Tame), 80,10% (Tgra), 82,86% (Tfib) e 80,71% (Trec).

Os valores médios diários da umidade relativa do ar nos modelos reduzidos submetidos ao telhado verde de chanana (TVc) foi de 81,10%; 78,04% para margaridinha (TVm) e 79,29% para salsa (TVs). A umidade relativa do ar no modelo reduzido com telha de fibrocimento (Tfib) foi inferior aos demais, média de 78,00%, ou seja, 3,10; 0,04 e 1,29%, menor que nos modelos reduzidos TVc, TVm e TVs).

A umidade relativa do ar no ambiente externo (Text) também apresentou valor inferior (75,64%) quando comparado aos modelos reduzidos com telhado verde (TVc, TVm e TVs), que apresentaram diferenças de 5,46; 2,40 e 3,65% superior ao ambiente externo (Text), respectivamente (Figura 16).

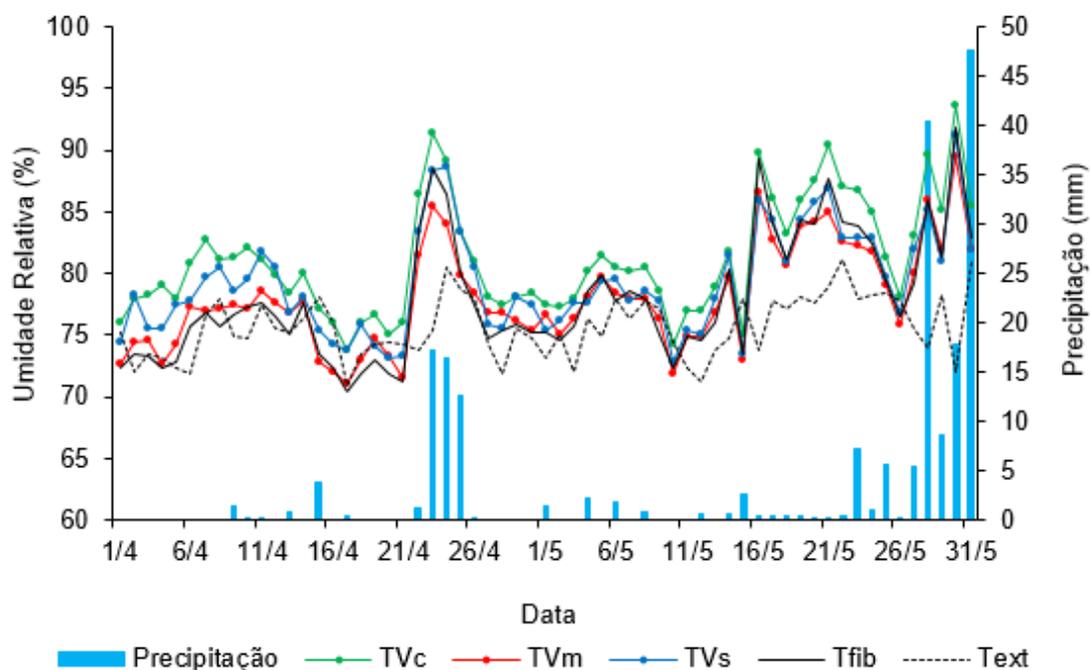


Figura 16. Variação média diária da umidade relativa do ar nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib), ambiente externo (Text) e precipitação.

A maior umidade relativa do ar no interior dos modelos reduzidos com telhado verde teve influência do processo de evapotranspiração das plantas e do substrato, que modificou as variáveis psicrométricas do ar no entorno do

modelo reduzido e, conseqüentemente, no seu interior por convecção. Segundo Silva (2011), a cobertura vegetal é responsável por 60% da diminuição de temperatura do ar no interior da instalação, pela redução da transmissão da radiação solar direta e alteração do fluxo de massa e energia, que contribui para o aumento da umidade relativa do ar.

Na Figura 17 verifica-se que o índice de desconforto (ID) para cada tratamento, apresentaram valores médios de 26,03 °C para TVc, 26,29 °C para TVm, 26,26 °C para TVs e 26,45 °C para Tfib. Os valores máximos para o ID foi de 27,82 °C para TVc, 27,93 °C para TVm, 27,89 °C para TVs e 28,12 °C para Tfib. Os valores mínimos foram da ordem de 24,17 °C para TVc, 24,66 °C para TVm, 24,70 °C para TVs e 24,76 °C para Tfib. Verifica-se que o modelo reduzido submetido ao TVc apresentou menor ID, comparativamente as demais coberturas avaliadas.

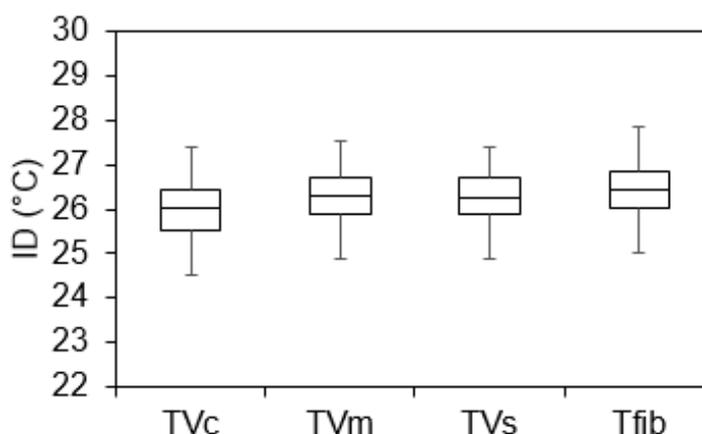


Figura 17. Índice de desconforto (ID) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).

Observa-se na Figura 18 que a temperatura efetiva (TE) apresentou valor médio de 26,07 °C para TVc, 26,34 °C para TVm, 26,32 °C para TVs e 26,52 °C para Tfib. O valor máximo da TE foi de 27,93 °C para TVc, 28,07 °C para TVm, 28,09 °C para TVs e 28,31 °C para Tfib. Os valores mínimos foram da ordem de 24,13 °C para TVc, 24,61 °C para TVm, 24,59 °C para TVs e 24,69 °C para Tfib. Os modelos reduzidos submetidos ao TVc foram os que apresentaram índice de TE mais adequados ao conforto humano, visto que o

desenvolvimento da cultura empregada como telhado verde foi o mais adequado ao acondicionamento térmico dos modelos reduzidos. Já para Carneiro (2014), o TE apresentou valores médios na ordem de 26,4 °C (Tame), 26,4 °C (Tgra), 27,2 °C (Tfib) e 26,9 °C (Trec). Observa-se que o TE variou de 27,5 °C, 27,4 °C, 29,1 °C e 28,1 °C para os extremos superiores, e de 24,7 °C, 24,6 °C, 24,7 °C e 25,1 °C para os extremos inferiores de Tame, Tgra, Tfib e Trec respectivamente.

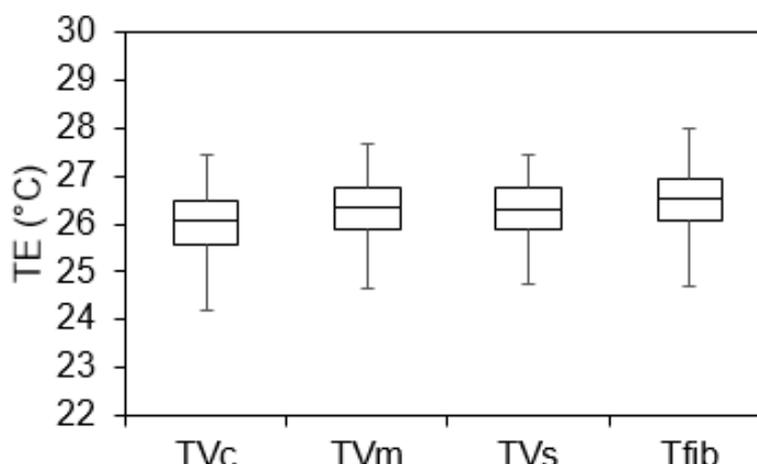


Figura 18. Temperatura efetiva (TE) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).

O índice de conforto humano (ICH) apresentou valor médio de 23,59 °C para TVc, 24,00 °C para TVm, 23,98 °C para TVs e 24,35 °C para Tfib. Os valores máximos foram de 26,37 °C para TVc, 26,51 °C para TVm, 26,49 °C para TVs e 27,06 °C para Tfib. Enquanto, que os valores mínimos foram da ordem de 20,49 °C para TVc, 21,52 °C para TVm, 21,30 °C para TVs e 21,42 °C para (Tfib). Verifica-se que o modelo reduzido submetido ao TVc apresentou ICH mais adequado, comparativamente aos demais (Figura 19). Segundo Carneiro (2014), o ICH apresentou valores médios da ordem de 24,4 °C (Tame), 24,3 °C (Tgra), 24,9 °C (Tfib) e 25 °C (Trec). Observa-se que o ICH variou de 25,9 °C, 26 °C, 27,5 °C e 26,6 °C para os extremos superiores, e de 21,8 °C, 21,6 °C, 21,6 °C e 22,2 °C para os extremos inferiores de Tame, Tgra, Tfib e Trec respectivamente.

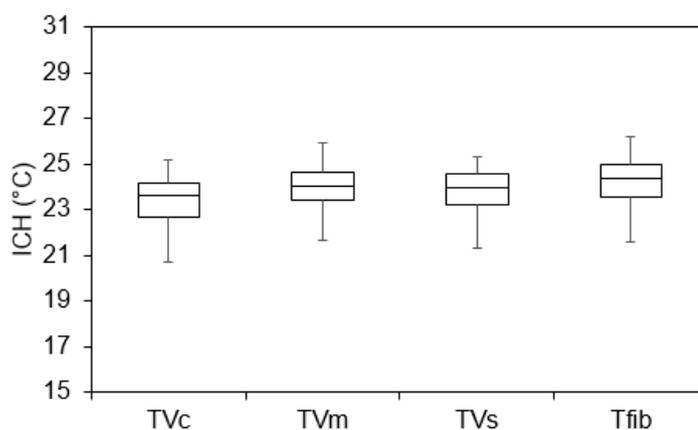


Figura 19. Índice de conforto humano (ICH) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).

Na Figura 20 observa-se o índice de temperatura e umidade (ITU) que apresentaram valores médios de 77,49 para TVc, 77,92 para TVm, 77,85 para TVs e 78,26 para Tfib. Os valores máximos foram de 80,52 para TVc, 80,69 para TVm, 80,73 para TVs e 81,18 para Tfib. Enquanto que os valores mínimos foram de 74,23 para TVc, 75,26 para TVm, 75,04 para TVs e 75,21 para Tfib. Verifica-se que o modelo reduzido equipado com TVc apresentou ITU menor que os demais, sendo assim, admite-se que o TVc atende melhor a exigência de conforto térmico por animais de produção, podendo ser empregado como uma medida de climatização natural para instalações zootécnicas.

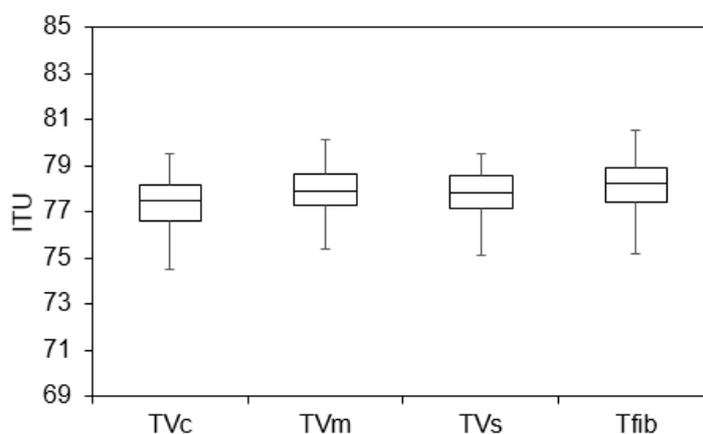


Figura 20. Índice de temperatura e umidade (ITU) nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).

Verifica-se na Tabela 7 que os índices de conforto térmico apresentaram efeito significativo entre os modelos reduzidos submetidos as suas diferentes coberturas.

Tabela 7. Valores médios e desvio padrão dos índices de conforto térmico humano e animal nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs), fibrocimento (Tfib).

	ID (°C)	TE (°C)	ICH (°C)	ITU
TVc	26,00 c ± 0,64	26,03 c ± 0,66	23,44 c ± 0,99	77,42 c ± 1,05
TVm	26,24 b ± 0,58	26,29 b ± 0,61	23,95 ab ± 0,94	77,89 b ± 0,99
TVs	26,19 b ± 0,65	26,24 b ± 0,67	23,80 b ± 0,97	77,77 b ± 1,04
Tfib	26,40 a ± 0,64	26,46 a ± 0,67	24,16 a ± 1,03	78,15 a ± 1,08

Letras diferentes nas mesmas colunas apresentam diferença significativa ($p < 0,05$)

O índice de desconforto (ID) apresentou diferença significativa para os modelos reduzidos com TVc em comparação as demais coberturas avaliadas. Os modelos reduzidos com TVs e TVm não apresentaram diferença ($p > 0,05$) entre si, mas apresentaram diferenças significativas quando comparados aos modelos reduzidos com Tfib. De acordo com Nogueira et al. (2012), os valores médios estiveram acima do recomendado para o conforto térmico (22 a 25 °C), enquadrando-se numa condição de ligeiro desconforto (25 a 28 °C). Segundo Fanger (1970), Valores de ID entre (25 a 28 °C) indicam desconforto ligeiramente quente.

A temperatura efetiva (TE) apresentou diferença significativa para os modelos reduzidos com TVc em comparação aos demais. Já os modelos reduzidos TVs e TVm não apresentaram diferenças significativas entre si, mas apresentaram diferenças significativas quando comparado aos modelos reduzidos com Tfib. Segundo MASTER (2014), os valores de TE entre (25 a 28 °C) indicam desconforto ligeiramente quente.

O índice de conforto humano (ICH) apresentou diferença significativa para os modelos reduzidos com TVc em comparação aos demais. Os modelos reduzidos com TVs e TVm não apresentaram diferenças significativas entre si, mas apresentaram diferenças significativas entre Tfib. Todos os modelos reduzidos apresentaram valores recomendados para o conforto térmico (20 a

29 °C). Segundo Rosemberg (1983), os valores de ICH entre (20 a 29 °C) enquadram o ambiente como confortável.

O índice de temperatura e umidade (ITU) apresentou diferença significativa para os modelos reduzidos com TVc em comparação aos demais, enquanto os modelos reduzidos com TVs e TVm não apresentaram diferenças significativas entre si, mas apresentaram diferenças significativas comparativamente aos modelos reduzidos com Tfib. O valor de ITU em todos os modelos reduzidos apresentaram valores acima do recomendado para o conforto animal (< 72). Os valores do ITU foram semelhantes aos encontrados por Lourenço Júnior (1998), na Ilha do Marajó, que obteve valores entre 75 a 83, mas inferiores aos valores do ITU encontrados por Castro (2005), em Belém, que obteve valores próximos ou superiores a 88 para bubalinos. Segundo Hahn (1985), os valores de ITU entre (73 a 78) enquadram o ambiente na condição de limite crítico.

A temperatura da superfície interna da cobertura com TVc apresentou valor médio inferior aos demais. A determinação da temperatura da superfície foi de 31,70 °C (TVc), 32,40 °C (TVm), 32,40 °C (TVs) e 33,20 °C (Tfib). Foi observado que os telhados verdes (TVc, TVm e TVs), reduziram as temperaturas das superfícies internas do material de cobertura nos modelos reduzidos em (1,5; 0,8 e 0,8 °C), respectivamente em comparação com o telhado de fibrocimento (Tfib), sendo assim, o modelo reduzido com TVc, por apresentar melhor fechamento foliar, atenuou a transmissão de energia por condução, o que promoveu atraso térmico entre a superfície externa e interna do material de cobertura (Figura 21).

Segundo Ferreira (2007), as plantas possuem mecanismo regulador de temperatura, por meio da utilização da energia radiante no processo de fotossíntese e para evapotranspiração, que devido às trocas de calor, resfriam a superfície das folhas e promovem a diminuição da temperatura no interior dos modelos reduzidos.

Pelo fato de dois dias de registros das imagens térmicas, terem ocorrido chuva ao longo de todo o dia, sendo assim, não foi possível realizar a análise térmica de duas datas. Foi observado que na data 4, o Telhado verde de chanana (TVc) apresentou um comportamento diferente em relação aos demais

datas, isso ocorreu devido a esse dia ter sido um dia atípico em relação as demais datas, ocorrendo chuva e estiagem ao longo de todo o dia.

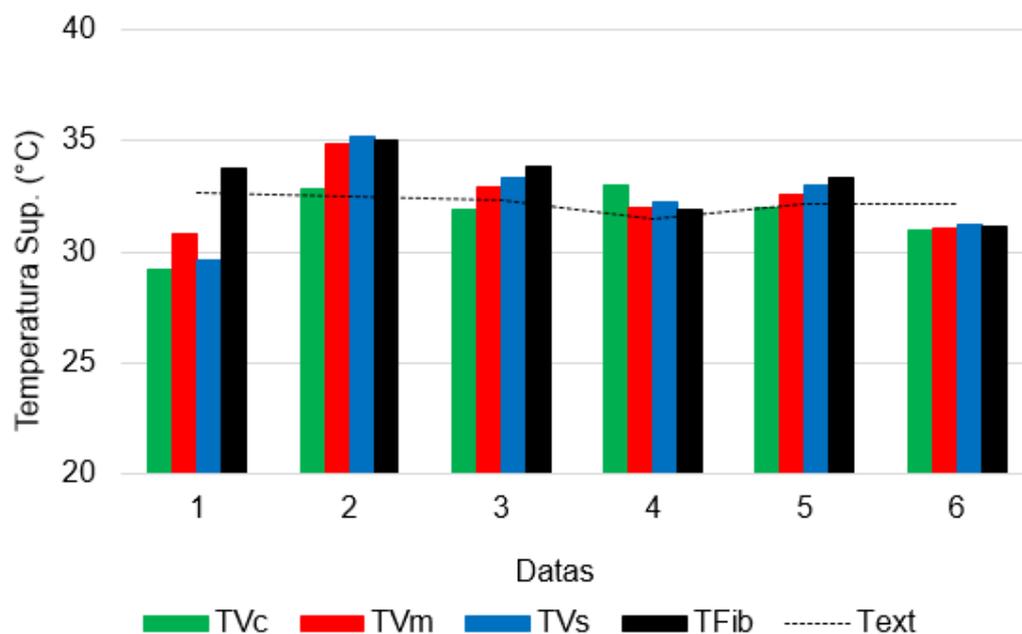


Figura 21. Temperatura da superfície interna do material de cobertura nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc), margaridinha (TVm), salsa (TVs) e fibrocimento (Tfib).

A Figura 22 apresenta as imagens térmicas da superfície interna do material de cobertura nos modelos reduzidos submetidos aos telhados verdes (TVc, TVm e TVs) e o telhado de fibrocimento. A temperatura das superfícies internas às 12 h, do dia 20/04/2015, que foi o dia e horário que apresentou as imagens térmicas com maiores temperaturas. Com uma temperatura média diária do ar de 33,23 °C, apresentou valores da ordem de 33,90 °C para TVc (Figura 22A), 36,20 °C para TVm (Figura 22B), 35,70 °C para TVs (Figura 22C) e 41,80 °C para Tfib (Figura 22D). Foi observado que os telhados verdes (TVc, TVm e TVs), reduziram as temperaturas das superfícies internas do material de cobertura nos modelos reduzidos em (7,9; 5,6 e 6,1 °C), respectivamente em comparação com o telhado de fibrocimento (Tfib).

Segundo Carneiro (2014), As imagens termográficas registradas para as coberturas apresentam as diferenças de temperatura entre as superfícies internas das coberturas no horário das 13:30 h, do dia 24/03/2014 com temperatura média do ar de 26,39 °C, onde Tame foi 34,2 °C, Tgra foi 36,7 °C,

Tfib foi 40,2 °C e Trec foi 39,1 °C, demonstraram que as coberturas verdes (Tame; Tgra), reduziram as temperaturas superficiais medidas na face interna das coberturas de (6,0 e 3,5 °C), respectivamente em comparação com o telhado de fibrocimento (Tfib).

Verifica-se que o modelo reduzido com TVc apresentou menor temperatura da superfície interna comparado aos modelos reduzidos com TVs, TVm e Tfib. Sendo assim, admite-se que o TVc apresentou melhor desempenho térmico, o que contribuiu com a redução da temperatura do ar no interior do modelo reduzido, aproximando-se da faixa de conforto exigida pelos clientes (humano e animal).

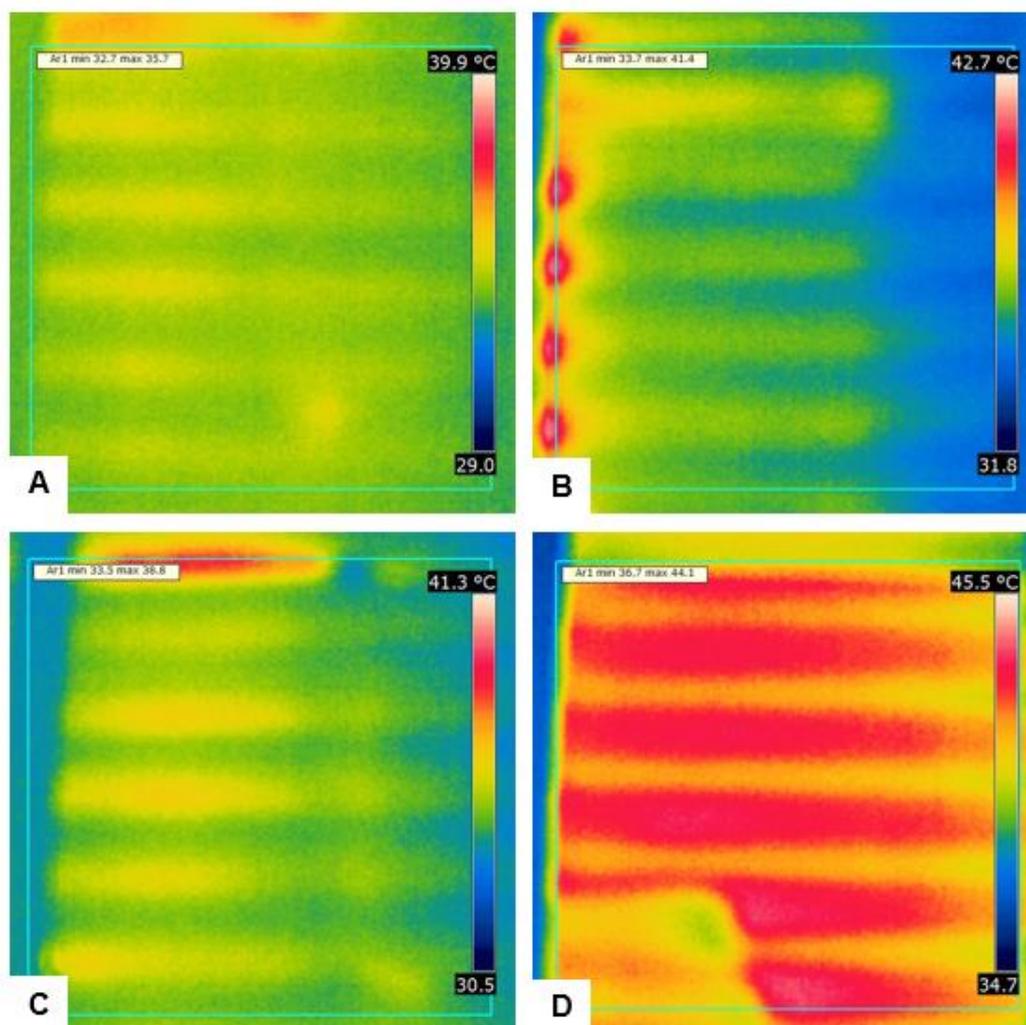


Figura 22. Imagens térmicas da superfície interna do material de cobertura nos modelos reduzidos com telhado verde de chanana (TVc - A), margaridinha (TVm - B), salsa (TVs - C) e fibrocimento (Tfib - D).

5. CONCLUSÕES

Os telhados verdes permitiram redução da temperatura do ar no interior dos modelos reduzidos, o que permitiu índices de conforto térmico moderado.

Os modelos reduzidos submetidos ao telhado verde de chanana apresentaram melhor desempenho térmico e redução da temperatura do ar no seu interior.

A menor temperatura da superfície interna do material de cobertura, nos modelos reduzidos submetidos ao telhado verde de chanana, que foi o telhado verde com melhor fechamento foliar, indicou que a espécie vegetal empregada, melhorou as propriedades térmicas da telha e contribuiu para a maior redução da temperatura do ar no seu interior.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M.; VITTORINO, F.; KANACIRO, C. **Tratamento Estatístico de Dados Climáticos para a Definição de Períodos de Verão e Inverno**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2005.

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil. **Building and Environment**, v. 45, n. 5, p. 1225-1232, 2010.

ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Thermal comfort in reduced models of broilers houses, under different types of roofing materials. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 19-27, 2013.

ALVES, E. D. L. & BIUDES, M. S. Os microclimas da Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. **Revista RA'E GA**, Curitiba-PR, v. 23, p. 600-620, 2011.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino - O caso de Natal/RN**. 1.ed. Natal/RN: Editora Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001.

ARBO, M.M. Turneraceae. In Kubitzki, K. (ed.), *The Families and Genera of Vascular Plants*. **Springer-Verlag**. Vol. 9, 2007.

ARTIGAS, L. V., **Fibrocimento. Materiais de construção III**, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

AVENDANO, R. L.; ALVAREZ, V. F. D.; CORREA, C. A.; SAUCEDO, Q. J. S.; ROBINSON, P. H.; FADEL, J. G. Effect of cooling Holstein cows during the dry period on postpartum performance under heat stress conditions. **Livestock Production Science**, v.105, p.198-206, 2006.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246p.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - Conforto animal**. 2.ed. Viçosa: UFV. p. 195-269, 2010.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C.; SILVA, I. J. O. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.12, p. 2442-2446, 2009.

BEYER, P. O. **Relatório Técnico: medição do desempenho térmico de Ecoltelhas**. Laboratório de Vapor e Refrigeração. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

BOUZIDA, N.; BENDADA, A.; MALDAGUE, X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. **Journal of Thermal Biology**. Oxford, v.34, n.3, p.120-126, 2009.

CARCALHO, L. S. S. Nutrição de poedeiras em clima quente. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v.18, p.1-15, 2012.

CARNEIRO, T. A. **Tipos de cobertura para o acondicionamento térmico primário de instalações rurais**. 2014. p. 54-68. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Recife, 2014.

CARVALHO, C. C. S.; SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. D. E. 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.

CASTANHEIRA, R. G. Conforto térmico, Universidade Federal Rural do Rio de

Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2008. COAG/FAO. **Urban and periurban agriculture**. COAG/99/10. Presented at 15th Session of the COAG, FAO. Rome, p. 25-29, 2008.

CASTRO, A. C. **Avaliação de sistema silvipastoril através do desempenho produtivo de búfalos manejados nas condições climáticas de Belém, Pará**. 2005. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Pará. Belém, 2005.

CASTRO, A. C. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistema de cobertura em instalações avícolas**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

CERDEIRA, F.; VÁSQUEZ, M. E.; COLLAZO, J.; GRANADA, E. Applicability of infrared thermography to the study of the behavior of stone panels as building envelopes. **Energy and Buildings**. Oxford, v. 43, p. 1845-1851, 2011.

CILULKO, J.; JANISZEWSKI, P.; BOGDASZEWSKI, M. Infrared thermal imaging in studies of Wild animals. **European Journal Wildlife Research**. Poland, v. 59, n. 1, p. 17-23, 2013.

CONCEIÇÃO, M. N.; ALVES, S. P.; TELATIN JÚNIOR, A.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; TONOLI, G. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.12, n.5, p.536-539, 2008.

DEL BARRIO, Elena Palomo. Analysis of the Green Roofs Cooling Potential in Buildings. **Journal of Energy and Buildings**. Amsterdam, v. 27, p.179-193, 1998.

DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science**, v.92, p.109-116, 2009.

DISNDALE, S.; PEAREN, B.; WILSON, C. Feasibility study for green roof application on queen's university campus. **Kingston: Queen's Physical Plant Services**. 2006. 58p.

DONAIISKY, E.; OLIVEIRA, G. H. C.; MENDES, N. Algoritmos PMV-MBPC para conforto térmico em edificações e aplicação em uma célula-teste. **Sba: Controle e Automação**, v. 21, n. 1, p. 1-13, 2010.

FAGHIH, A. K.; BAHADORI, M. N. Solar radiation on domed roofs. **Energy and Buildings**, v.41, p.1238-1245, 2009.

FANGER, O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen, 1970. 244p.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 371p.

FERREIRA, M. F. **Teto verde: o uso de coberturas vegetais em edificações**. Rio de Janeiro: PUCRIO, 2007.

FIORELLI, J.; MORCELI, J. A. B.; VAZ, R. I.; DIAS, A. A. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p. 204-209, 2009.

FONSECA, P. C. F.; ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Thermal comfort índices in individual shelters for dairy calves with diferente types of roofs. **Revista de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1044-1051, nov./dez. 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Nobel. 1988. 228p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do Conforto Térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007. 43p.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Silvia Helena Gonçalves (Trad.). São Paulo: Oficina de Textos. 2010. 243p.

GIBBS, J.; LUCKETT, K.; JOST, V.; MORGAN, S. **Evaluating Performance of a Green Roof System With Different Growing Mediums, Sedum Species and Fertilizer Treatments**. In: ILLINOIS STATE ACADEMY OF SCIENCE ANNUAL MEETING. Chicago, 2006.

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, n. 2, p. 98-104, 1990.

GODYN, D.; HERBUR, E.; WALCZAK, J. Infrared thermography as a method for evaluating the welfare of animals subjected to invasive procedures – a Review. **Annals of Animal Science**. Paris, v. 13, n. 3, p. 423-434, 2013.

GONÇALVES, P. P. **Avaliação do uso de sistemas ecológicos em Fortaleza: um estudo de caso sobre as práticas atuais e visão dos empreendedores para as construções do futuro**. 2009. 69f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.

HAHN, G. L. Compensatory performance in livestock: influences. In: Yousef, M. K. **Stress physiology**. Boca Raton: CRC Press, v. 2. p. 52-145, 1985.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6 ed. 2008. Tradução: QUEIROZ, E. M.; PESSOA, F. L. P. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643p.

ISSO-SYSTEMS. Disponível em: <<http://www.iso-systems.com.br/produtos-para-isolamento-termico-acustico-e-impermeabilizacao/isolante-termico-iso-hd1>>. Acessado em: 12 de dezembro de 2014.

IGRA - International Green Roof Association. Disponível em: <<http://www.igra-world.com>>. Acessado em: 10 de outubro de 2014.

JÁCOME, I. M. T. D.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SILVA, J. H. V.; MOURA, J. F. P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, n.5, p. 527-531, 2007.

JENTZSCH, R. **Estudos de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas**. 2002. 103p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.

JENTZSCH, R.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F. Predição de parâmetros térmicos ambientais no interior de modelos físicos em escala reduzidas de galpões avícolas. **Revista Interciência**. Caracas, v. 36, n. 10. p. 1-5, out. 2011.

KRUNITZKY, R. B. **Cidadania Global: Um trânsito para a sustentabilidade ambiental**. Lajeado, 2009.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 1-4, 2002.

LERMA, J. L.; CABRELLES, M.; PORTALÉS, C. Multitemporal Thermal analysis to Detect Moisture on a Building Façade. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 5, p. 2190-2197, 2011.

LIBBRA, A., TAROZZI, L., MUSCIO, A., CORTICELLI, M. A. Spectral Response Data For Development of Cool Coloured Tile Coverings. **Optics & Laser Technology**, v. 43, p. 394-400, 2009.

LOURENÇO JÚNIOR, J. B. **Variáveis produtivas, fisiológicas e de comportamento de zebuínos e bubalinos e fatores do ambiente físico em pastagem cultivada da ilha de Marajó**. 1998. 127 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Federal do Pará. Belém, 1998.

LORRENZI, H. **Plantas Daninhas do Brasil**, 3º ed. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP, 2000.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de. **Plantas ornamentais no brasil; arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 4.ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, p. 384-1041, 2008.

MADER T. L.; JOHNSON L. J.; GAUGHAN, J. B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. **Journal of Animal Science**, v. 88, p. 2153-2165, 2010.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Latent heat loss of Holstein cows in a tropical environment: A prediction model. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p. 1837-1843, 2008.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. **Bioclimatologia Animal**. Rio de Janeiro, 1997.

MEDEIROS, J. A. Arborização urbana com plantas nativas na seca de 2013 na cidade de São José do Seridó/RN. **Revista eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria-RS, v. 18, n. 2, p. 908-918, 2014.

MENEGALI, I.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; CECON, P.C.; GUIMARÃES, M.C.C.; CORDEIRO, M.B. Ambiente térmico e concentração de gases em instalações para frangos de corte no período de aquecimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, p. 984-990, 2009.

MASTER – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais - IAG/USP. **Distribuição das zonas de conforto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas**. Disponível em: <http://www.master.iag.usp.br/conforto/previsao.php?ant=&var=temp_efet&t=2&gr=2&pref=2g&inic=00>. Acesso em: 10 de setembro de 2015.

MINKE, G. **Techos verdes**. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo: Fin de Siglo. 2003.

MINKE, G. **Techos verdes**. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguai: EcoHabitar, 2005. 86p.

MISSENARD, A. **L'Homme at lê climat**. Paris, 1937.

MONTANER, J. M. A. **Modernidade Superada: ensaios sobre a arquitetura contemporânea**. 2.ed. revisada e ampliada. São Paulo, p. 153-169. 2012.

MORAIS, C. S. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos – SP**. 2004, 106p. Dissertação de Mestrado. UFSC. São Paulo, 2004.

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.

MURPHY, G. C. E. **Similitude in engineering**. New York: Ronal Press, 1950. 302p.

NÄÄS, I. A.; MIRAGLIOTTA, M. Y.; BARACHO, M. S.; MOURA, D. J. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.27, n.2, p. 326-334, 2007.

NÄÄS, I. A.; ROMANINI, C. E. B.; NEVES, D. P.; NASCIMENTO, G. R.; VERCELLINO, R. A. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 497-502, 2010.

NASCIMENTO, A. P. S. **Estudo Comparativo Do Conforto Térmico em Três Realidades Urbanas da Cidade De Santos, SP**. 2015. p. 32-36. Dissertação (Mestrado) -Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Costeiros e Marinhos. Santos, 2015.

NASCIMENTO, G. R.; PEREIRA, D. F.; NÄÄS, I. A.; RODRIGUES, L. A. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Revista de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal - SP. v. 31, n. 2, p. 219-229, 2011.

NAZARENO, A. C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GIONGO, P. R.; PEDROSA, E. M. R.; GUISELINI, C. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.6, p. 802-808, 2009.

NEVES, M. L. M. W.; AZEVEDO, M.; COSTA, L. A. B.; GUIM, A.; LEITE, A. M.; CHAGAS, J. C.; Níveis críticos do índice de conforto térmico para ovinos da raça santa inês criados a pasto no agreste do estado de Pernambuco. **Acta Scientiarum. Animal Sciences, Maringá**, v. 31, n. 2, p. 169-175, 2009.

NG, E. Y. K. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. **International Journal of Thermal Sciences**, p. 849-859, 2009.

NÓBREGA, G. H.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B. A produção animal sobre a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, v.6, n.1, p. 67-73, 2011.

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”, Unioeste, Campus de Cascavel. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 34, n. 1, p. 3-7, 2012.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão: princípios básicos e atualidades na suinocultura. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.13, n.2, p. 558-568, 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.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PERINI, K.; MAGLIOCCO, A. The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces. **International Journal of Biology**, v. 4, n. 2, p. 79-91, 2012.

PICANÇO, S. M.; GHAVAMI, K. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibra vegetal da Amazônia. **REM: R. Esc. Minas**. Ouro Preto, v.61, n.1, p. 13-18, 2008.

RENTERGHEM, V. T.; BOTTELDOOREN, D. Reducing the Acoustical Façade Load From Road Traffic With Green Roofs. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1081-1087, 2009.

RIZZATTI, E.; ROMAN, H. E.; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E. Y. Análise do comportamento mecânico das alvenarias estruturais de blocos cerâmicos utilizando modelos físicos reduzidos – Efeito da geometria. **Revista IBRACOM de Estruturas e Materiais**. Volume 5, n. 5, p. 702-736, 2012.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. B.; ZOTTI, C. A.; MARQUES, B. A. A.; NOBRE, I. S.; DELFINO, L. J. B. **Utilização da Termografia de Infravermelho na avaliação das respostas fisiológicas e gradientes térmicos de cabras saanen e mestiças $\frac{1}{4}$ saanen + $\frac{3}{4}$ bôer no semiárido paraibano**. In: 5 SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE CAPRINOS E OVINOS DE CORTE. Anais. João Pessoa, PB, Brasil: EMEPA-PB, 2011. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, A. L.; SOUZA, B. B. S.; PEREIRA FILHO, J. M. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**. Patos, v.06, n. 02, p.14-22, 2010.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo. ProEditores, p. 31-32, 2000.

ROSENBERG, N. J., BLAND, B. L., VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 467p.

ROSSETI, K. A. C. **Estudo do Desempenho de Coberturas Verdes como Estratégia Passiva de Condicionamento Térmico dos Edifícios na Cidade de Cuiabá, MT**. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2009.

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.

SANTOS, P. A.; YAHAGI JUNIOR, T.; TEIXEIRA, V. H.; FERREIRA, L. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 575-584, 2005.

SANTOS, R. L.; ANDRADE, H. O. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, n. 40, p. 77-84, 2008.

SANTOS, P. A.; BAÊTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista CERES**, v.56, p.172-180, 2009.

SANTOS, P. T. S.; SANTOS, S. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Telhado Verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, 2013.

SARMENTO, V. G. L.; DANTAS, T. R.; FURTADO, A. D.; NASCIMENTO, B. W. J.; SILVA, V. H. J. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, v. 26, nº 2, p.117–122, 2005.

SAS - Statistical Analysis System. SAS Companion for the Microsoft Windows Environment. Version 8, Cary: 2009. CD-Rom.

SCHLINDWEIN, C; MEDEIROS, P. C. R. Pollination in *Turnera subulata* (Turneraceae): Unilateral reproductive dependence of the narrowly oligolectic bee *Protomelitura Turnerae* (Hymenoptera, Andrenidae). **Flora** **201**: p. 178-188, 2006.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balances Hídricos Climatológicos do Brasil - 500 balances hídricos de localidades brasileiras**. ESALQ, 1 CD-ROM. 1999.

SHORT, P. S. & COWIE, I. D. Flora of the Darwin Region. **National Library of Australia Cataloguing-in-publication entry** (PDF). Vol. 1, 2011.

SILVA, R. G. Biofísica ambiental – os animais e seu ambiente. **Funep**. Jaboticabal, 2008. 386p.

SILVA, E. V. C. E.; KATAYAMA, K. A.; MACE, G. G.; RUEDA, P. M.; ABREU, U. G. P.; ARI, C. E. S. N. Z. Efeito do manejo e de variáveis bioclimáticas sobre a taxa de gestação em vacas receptoras de embriões. **Ciência Animal**, v.11, p. 280-291, 2010.

SILVA, N. C. **Telhado Verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. 60-62 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Ênfase: tecnologia e produtividade das construções. Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, S. R. L.; NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J. Análise de imagens para a caracterização das atividades de vacas leiteiras dentro do galpão de confinamento. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, vol. 31, n. 6, 2011.

TANGA, R.; ETZIONB, Y. Cooling performance of roof ponds wint gunny bags floating on water surfasse as compared with a movable insulation. **Renewable Energy**, v. 30, p. 1373-1385, 2005.

TANZILLO, A. A.; COSTA, G. B. **“Telhados verdes: uma proposta de dimensionamento para a sustentabilidade em urbanização e drenagem”**. 2012. 123p. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) - Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2012.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**. Boston, v.12, n.1, p. 57-60, 1959.

VERATTI, A. B. **Manual do curso de formação de termografista nível I** do ITC Infrared Training Center. Rev. 1.1 Publi. Nº 1560063_E-pt/BR – Cap. 1/14. São Paulo, 2011.