



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ANÁLISE TÉRMICA COMPUTACIONAL DE AVIÁRIO NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

CAMPINA GRANDE - PB

NOVEMBRO – 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

INDIRA CRISTIANE MOREIRA GONÇALVES

**ANÁLISE TÉRMICA COMPUTACIONAL DE AVIÁRIO NO
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande/PB, como parte dos requisitos para obtenção do título de doutora em Engenharia Agrícola na área de Construções Rurais e Ambiência

Orientador: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto

CAMPINA GRANDE - PB

NOVEMBRO – 2020

G635a Gonçalves, Indira Cristiane Moreira.
Análise térmica computacional de aviário no semiárido brasileiro /
Indira Cristiane Moreira Gonçalves. - Campina Grande, 2021.
88 f. : il. Color

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.
"Orientação: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto".
Referências.

1. Avicultura. 2. Conforto Térmico. 3. Instalação Zootécnica. 4.
*EnergyPlus*TM. I. Lopes Neto, José Pinheiro. II. Título.

CDU 636.5(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

APROVADO (A): 20 de novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Dr. José Pinheiro Lopes Neto
Orientador – UAEA/CTRN/UFCC

Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento
Examinador - UAEA/CTRN/UFCC

Dra. Vera Lucia Antunes de Lima
Orientador – UAEA/CTRN/UFCC

Dra. Sílvia Helena Nogueira Turco
Examinadora - PPGEA/UNIVASF

Dra. Valéria Peixoto Borges
Examinadora - CCA/UFPB

DEDICATÓRIA

A Deus, pela sua infinita graça e misericórdia em minha vida. Aos meus pais, Almir e Adiva, e irmãos, Saionara e Almir Júnior, pelo amor incondicional, dedicação e incentivo. Ao meu esposo Wallison, pelo apoio e confiança. À minha amada filha, Celina, luz da minha vida. Dedico este trabalho com muito amor e carinho.

EPIGRAFE

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre ter me dado forças e iluminado meus caminhos durante esta jornada acadêmica.

Aos meus pais que souberam confiar e acreditar no meu potencial, me ensinando a não desistir e vencer todos os obstáculos, aos meus irmãos, que se orgulharam de cada conquista e ao meu esposo, pelo apoio, carinho e incentivo sem os quais a concretização deste trabalho seria mais difícil.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Pinheiro Lopes Neto, por sua orientação, apoio e disponibilidade durante a realização deste trabalho.

À Professora Dra. Sílvia Helena Nogueira Turco, pela disponibilização dos equipamentos e laboratório utilizados neste trabalho, bem como pela sua amizade, confiança, incentivo, apoio e dedicação durante toda a minha jornada acadêmica.

À Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

Ao IF Baiano, campus Alagoinhas, pela concessão da minha liberação total durante parte da Pós-Graduação.

Ao IF Sertão, campus Petrolina, pela disponibilização do espaço para a realização das minhas atividades experimentais.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da zona de conforto térmico e regiões extremas.	17
Figura 2. Vista geral da instalação e estrutura da cobertura no interior do aviário.....	31
Figura 3. Equipamento meteorológico montado na parte interna e externa do aviário.	33
Figura 4. Modelo do aviário estudado com suas características reais.....	35
Figura 5. Temperatura do ar média no interior e exterior do aviário nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.	41
Figura 6. Umidade relativa do ar média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.	46
Figura 7. Velocidade do vento média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.	50
Figura 8. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) médio no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.	53
Figura 9. Carga térmica radiante (CTR) média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.	57
Figura 10. Entalpia média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.....	60
Figura 11. Temperatura do ar média real e simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b).....	63
Figura 12. Umidade relativa média real e simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b).....	64

Figura 13. Índice de temperatura e umidade (ITU) real e simulado nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b).	65
Figura 14. Temperatura do ar média simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b) para os diferentes tipos de telhas.	66
Figura 15. Umidade relativa do ar média simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b) para os diferentes tipos de telhas.....	68
Figura 16. Índice de temperatura e umidade (ITU) médio simulado nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b) para os diferentes tipos de telhas.....	70
Figura 17. Carga térmica (kW/h) no interior do aviário para os diferentes tipos de telhas.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais para frangos de corte em diferentes idades.	18
Tabela 2. Descrição dos equipamentos utilizados na etapa experimental para avaliação das variáveis microclimáticas.	32
Tabela 3. Propriedades físicas e térmicas dos materiais das paredes.	35
Tabela 4. Propriedades físicas e térmicas das telhas analisadas.	36
Tabela 5. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão com relação à média da temperatura do ar (TA) para os diferentes turnos e áreas de coleta.	40
Tabela 6. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da umidade relativa do ar (UR) para os diferentes turnos e áreas de coleta.	45
Tabela 7. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da velocidade do vento (V.v.) para os diferentes turnos e áreas de coleta.	49
Tabela 8. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média do índice de temperatura e umidade (ITGU) para os diferentes turnos e áreas de coleta.	52
Tabela 9. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da carga térmica radiante (CTR) para os diferentes turnos e áreas de coleta.	56
Tabela 10. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da Entalpia para os diferentes turnos e áreas de coleta.	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Ambiência animal e conforto térmico.....	16
3.2 Ambiente térmico para frangos de corte.....	17
3.3 Índices de conforto térmico	20
3.4 Estresse térmico e mecanismos de troca de calor	21
3.5 Tipologias de aviários para frangos de corte	23
3.6 Cobertura nas instalações rurais.....	24
3.7 Transferência de calor em coberturas	25
3.8 Simulação computacional	26
3.9 EnergyPlus™	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Primeira etapa	30
4.1.1 Local da instalação	30
4.1.2 Características do aviário	30
4.1.3 Registro dos parâmetros ambientais.....	31
4.1.4 Determinação dos Índices de Conforto	33
4.2 Segunda etapa	34
4.2.1 Simulação tridimensional.....	34
4.2.2 Propriedades físicas e térmicas dos materiais construtivos.....	35
4.2.3 Simulação no <i>EnergyPlus™</i>	37
4.2.4 Determinação do dia típico de verão pelo método do IPT para inserção no <i>EnergyPlus™</i>	37
4.3 Análise estatística	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Análise das Variáveis Climáticas e Índices de Conforto Térmico	40
5.2 Simulação no <i>Energyplus™</i>	62
6. CONCLUSÕES.....	76
7. REFERÊNCIAS	77

ANÁLISE TÉRMICA COMPUTACIONAL DE AVIÁRIO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

A manutenção do ambiente térmico dentro de intervalos de conforto é essencial para que todo o potencial genético da linhagem de frangos de corte seja evidenciado. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento térmico de um aviário e avaliar seu desempenho térmico por meio de simulação computacional. O experimento foi realizado em duas estações, inverno (2019) e verão (2020), onde os dados foram registrados em quatro turnos diferentes (Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00). As variáveis microclimáticas mensuradas foram temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo negro. A partir destes dados foram determinados alguns índices de conforto térmico animal: Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR) e a variável termodinâmica Entalpia. A análise estatística foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA) e teste F. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias admitindo-se uma probabilidade de erro de 5% ($P < 0,05$). Para a simulação computacional, um modelo virtual do galpão foi desenvolvido com auxílio da interface gráfica de usuário OpenStudio® no Sketchup, e posteriormente o cálculo do desempenho térmico foi realizado por meio do software *EnergyPlus*™. Na simulação foi avaliado o desempenho térmico do aviário com diferentes tipos de telhas: termoacústicas, cerâmicas, fibrocimento e metálicas. Os resultados relacionados ao estudo do microclima da instalação mostraram que houve diferença significativa entre os parâmetros analisados para o inverno e verão, nos quatro turnos estudados, sendo que nas duas estações, a instalação apresentou situações de conforto e desconforto térmico para os animais. A partir da simulação computacional foi possível constatar que o *EnergyPlus* traz respostas confiáveis, ao comparar os dados experimentais e simulados, sendo as respostas das variáveis avaliadas apresentaram o mesmo comportamento em todos os turnos. Os resultados também evidenciaram que a telha termoacústica proporciona à instalação, para as condições climáticas do semiárido pernambucano, menor carga térmica, conseqüentemente melhor desempenho térmico, seguido pelas telhas cerâmicas, fibrocimento e metálicas.

Palavras – chave: Avicultura. Conforto térmico. Instalação zootécnica. *EnergyPlus*™.

COMPUTATIONAL THERMAL ANALYSIS OF AVIARY IN THE BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT

Maintaining the thermal environment within comfort ranges is essential so that the full genetic potential of the broiler line is demonstrated. Thus, the present work aimed to study the thermal behavior of an aviary and evaluate its thermal performance through computer simulation. The experiment was carried out in two seasons, winter (2019) and summer (2020), where data were recorded in four different shifts (Shift 1 - 1:00 to 6:00; Shift 2 - 7:00 to 12:00; Shift 3 - 13:00 to 18:00; and Shift 4 - 19:00 to 24:00). The microclimate variables measured were air temperature and relative humidity, wind speed and black globe temperature. From these data, some indexes of animal thermal comfort were determined: Black Globe Temperature and Humidity Index (ITGU), Radiant Thermal Load (CTR) and the thermodynamic variable Enthalpy. The statistical analysis was performed by means of analysis of variance (ANOVA) and the F test. The Tukey test was used to compare the averages, assuming a probability of error of 5% ($P < 0.05$). For the computer simulation, a virtual model of the shed was developed with the aid of the graphical user interface OpenStudio® in Sketchup, and later the calculation of the thermal performance was performed using the EnergyPlus™ software. In the simulation the thermal performance of the aviary was evaluated with different types of tiles: thermoacoustic, ceramic, fiber cement and metal. The results related to the study of the installation's microclimate showed that there was a significant difference between the parameters analyzed for winter and summer, in the four shifts studied, and in both seasons, the installation presented situations of comfort and thermal discomfort for the animals. From the computer simulation it was possible to verify that the EnergyPlus brings reliable responses, when comparing the experimental and simulated data, with the responses of the variables evaluated showing the same behavior in all shifts. The results also showed that the thermoacoustic tile provides the installation, for the climatic conditions of the Pernambuco semiarid region, with lower thermal load, consequently better thermal performance, followed by ceramic, fiber cement and metal tiles.

Key-words: Aviculture. Thermal comfort. Zootechnical installation. *EnergyPlus*™.

1. INTRODUÇÃO

No agronegócio brasileiro, a avicultura é uma atividade que vem se destacando por possuir uma cadeia produtiva bem estruturada, com elevada inserção de tecnologia, sendo um dos responsáveis pelo Brasil vir se sobressaindo entre os maiores produtores do mundo, sendo que, de acordo com Schmidt & Silva (2018), nos últimos anos, a produção de carne de frango brasileira cresceu 112%. Esse desempenho posicionou o Brasil como o maior exportador e o terceiro maior produtor mundial.

Isso só é possível pelo investimento em equipamentos e no bem-estar dos animais, melhoramento do potencial genético, do aproveitamento nutricional, além da exigência, principalmente do mercado externo, da ética e transparência durante todo o processo de produção, incluindo nos métodos de criação e manejo dos animais.

Para desempenhar o seu máximo potencial produtivo, as aves precisam estar alojadas em instalações que proporcionem conforto térmico, principalmente no que tange temperatura e umidade relativa do ar. Desta forma, para minimizar as condições climáticas que podem ser desfavoráveis a depender da região e época do ano, e conseqüentemente aumentar a produção e produtividade das aves, é importante construir e adequar as instalações ao clima local, de tal forma que as mesmas permitam a manutenção da temperatura e umidade relativa, em limites que proporcionem um ambiente ideal no interior do aviário e às exigências das aves, sem aumento dos custos de produção.

Em países tropicais e subtropicais, o maior ganho térmico em edificações ocorre principalmente através da cobertura por ser a superfície mais exposta à radiação solar. Segundo Michels (2007), o acréscimo na temperatura interna é percebido, principalmente, nas instalações que possuem telhas aparentes, ou seja, quando a mesma não possui forro (ou laje) para separar o espaço do restante da edificação. Dessa forma, o estudo das coberturas, a partir de seus diferentes materiais e modificações, tem sido alvo de estudos por pesquisadores, na busca de melhores condições de conforto térmico aos animais e modelos de instalação mais adequados para confinamento (Passini et al., 2013; Melo et al., 2013; Fiorelli et al., 2009; Sampaio et al., 2011).

Entretanto, devido à diversidade climática do Brasil, não há um modelo específico de aviário capaz de atender à todas as necessidades de cada região, sendo assim importante o conhecimento das necessidades ambientais das aves e o estudo das

condições climáticas e do microclima local em que será implantado o sistema de produção.

A fim de auxiliar no processo de tomada de decisão, no dimensionamento e na confecção de projetos de aviários, na escolha dos materiais de construção, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico dentro destas instalações e, conseqüentemente, a produção e produtividade dos animais, metodologias de avaliação, monitoramento e modelagem sobre as condições ambientais no interior de aviários têm sido incorporadas, como, por exemplo, a utilização da simulação computacional.

A simulação computacional, dentre outras possibilidades, permite a avaliação do desempenho térmico de diferentes edificações, sendo importantes para a previsão de problemas localizados, auxiliando na implantação de procedimentos de controle, com o objetivo de reduzir perdas produtivas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o microclima no interior de um aviário destinado à criação de frangos de corte em duas estações, inverno e verão, situado no semiárido pernambucano, como também verificar o desempenho térmico desta instalação utilizando o programa EnergyPlus™ como ferramenta para simulação computacional, com diferentes alternativas de tipos de telha.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o microclima de um aviário por meio do registro dos dados de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de globo negro e velocidade do vento e índices de conforto, ITGU (Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade) e CTR (Carga Térmica Radiante) da área interna e externa da instalação;
- Avaliar o desempenho térmico do aviário com suas características reais por meio de simulações computacionais no EnergyPlus™;
- Simular, avaliar e comparar o desempenho térmico do aviário considerando diferentes tipos de telha;
- Identificar qual telha é mais eficiente, a partir das simulações de desempenho térmico para a cidade de Petrolina – PE.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

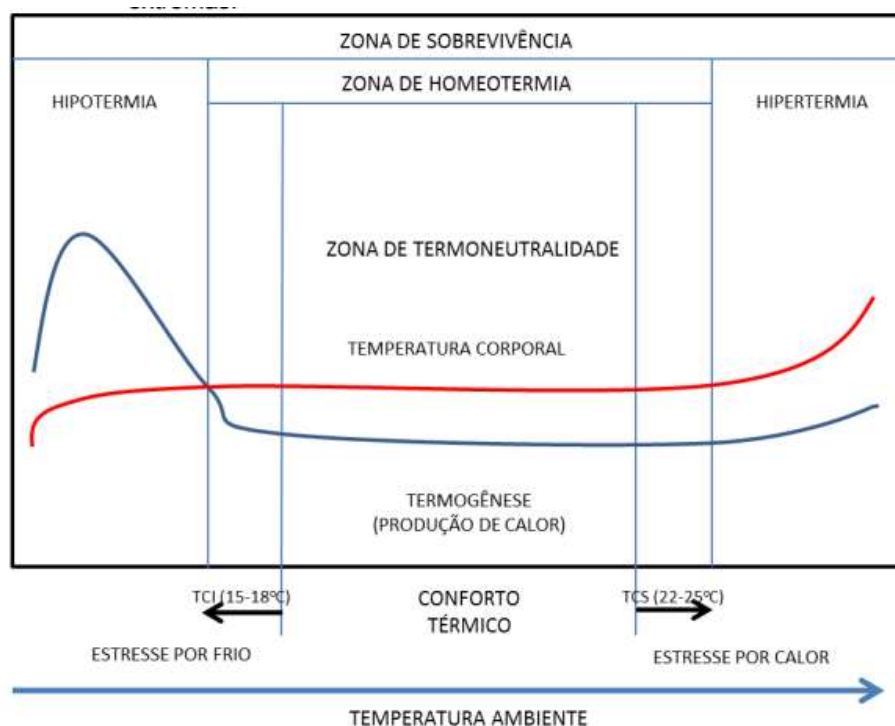
3.1 Ambiência animal e conforto térmico

De acordo com Baêta & Souza (2010), o ambiente de produção é definido como o conjunto de todos os fatores que afetam direta ou indiretamente os animais, compreendendo todos os elementos físicos, químicos, biológicos, sociais e térmicos que influenciam o seu desenvolvimento e crescimento. Segundo Amaral et al. (2011), este ambiente exerce papel fundamental na avicultura, atividade esta que busca alcançar alta produtividade, em espaço físico e tempo relativamente reduzidos, onde dentre outros fatores do ambiente, os térmicos, são os que mais afetam os animais, pois comprometem a função vital das aves, considerada extremamente importante, que é a homeotermia.

As aves são animais homeotermos, ou seja, possuem habilidades para manter a temperatura do corpo aproximadamente constante, por meio de um sistema termorregulador. O sistema de termorregulação controla os processos de aumento e dissipação das taxas de calor, mediante as variações ocorridas no ambiente externo, para que seus órgãos vitais possam funcionar normalmente. Logo, as aves estão continuamente em troca térmica com o ambiente (Baêta & Souza, 2010).

Para Furlan & Macari (2002) a homeostase pode ser definida como o conjunto de mecanismos fisiológicos e bioquímicos que atuam na manutenção do equilíbrio do meio interno do animal. Quando a ave encontra-se na zona de conforto, ela está em equilíbrio térmico (Takahashi et al., 2009). A zona de conforto térmico pode ser definida como a faixa de temperatura ambiente em que o gasto energético é mínimo para a manutenção da homeotermia e o desempenho produtivo tende a ser máximo (Furlan & Macari, 2002).

Esmay (1974) desenvolveu um gráfico (Figura 1) que mostra a variação das respostas da ave em função dos parâmetros ambientais, sendo que a zona de termoneutralidade, ou zona de conforto térmico para as aves é a faixa de temperatura ambiente em que a homeotermia é mantida com menor gasto energético pela ave.



Fonte: Adaptado de Esmay (1974).

Figura 1. Representação esquemática da zona de conforto térmico e regiões extremas.

Apesar de todos os avanços tecnológicos alcançados no setor agropecuário, especialmente no que tange à produção animal, o ambiente, nos sistemas de criação intensivos, ainda influencia negativamente o conforto e bem-estar animal, promovendo dificuldade na manutenção do balanço térmico no interior das instalações e na expressão de seus comportamentos naturais, afetando o desempenho produtivo das aves (Nazareno et al., 2009; Pandorfi et al., 2008). Dessa forma, torna-se necessária a oferta de um ambiente adequado aos animais, propiciando a obtenção do máximo de produção com o mínimo de custo.

3.2 Ambiente térmico para frangos de corte

Para Baêta e Souza (2010), os elementos climáticos componentes do ambiente térmico incluem temperatura, umidade relativa, movimentação do ar e radiação e são considerados os mais relevantes, por exercerem ação direta e imediata sobre as respostas comportamentais, produtivas e reprodutivas dos animais, podendo comprometer a sua homeotermia.

Segundo Silva et al. (2012), o processo da manutenção da homeotermia, somente é eficiente quando a temperatura ambiental estiver dentro dos limites da

termoneutralidade, sendo que as aves não se ajustam, perfeitamente, em extremos de temperatura, podendo, inclusive, ter a vida ameaçada. Para Albino et al. (2014), uma das grandes preocupações com as elevações da temperatura na avicultura está relacionado com a dificuldade das aves trocarem calor, uma vez que, em geral, não dispõem de glândulas sudoríparas, e apresentam o corpo recoberto por penas, tendo o propósito de tentar manter sua temperatura corporal em equilíbrio.

Esses fatores ambientais podem causar um estresse aos animais, podendo ocasionar efeitos positivos ou negativos na produção de frangos de corte, pois altas temperaturas reduzem o consumo de alimento e prejudicam o desempenho, enquanto baixas temperaturas podem melhorar o ganho de peso, mas podem prejudicar na conversão alimentar (Souza et al., 2011).

Portanto, é importante que estes animais sejam alojados em ambientes que proporcionem condições de conforto térmico, que varia de acordo com a fase de vida da ave e para esta finalidade, vários autores tentam estabelecer temperaturas ideais para o ambiente de criação de frangos de corte (Tabela 1), onde essas temperaturas estão divididas em limites superior e inferior caracterizadas por diferentes idades das aves.

Tabela 1. Limites inferiores e superiores das temperaturas ideais para frangos de corte em diferentes idades.

Idade (Semanas)	Temperatura do ar (°C)
1 ^a	32 - 34
2 ^a	28 - 32
3 ^a	26 - 28
4 ^a	24 - 26
5 ^a	18 - 24
6 ^a	18 - 24

Fonte: Adaptado de Cândido et al. (2016), Cassuce (2011) e Medeiros et al. (2005).

As condições de conforto térmico são função de diversas variáveis, onde além da temperatura do ar, a umidade relativa também é um elemento microclimático importante. Segundo Abreu & Abreu (2011), a umidade relativa considerada ideal para frangos de corte deve variar de 60 a 70%.

De acordo com Oliveira et al. (2006), a capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar, ou seja, quanto maior a

umidade relativa do ar, mais dificuldade a ave tem de remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Todo esse processo que a ave realiza no sentido de manutenção da homeotermia promove modificações fisiológicas que podem comprometer seu desempenho.

Para verificar a influência da temperatura e da umidade relativa (UR) do ar sobre parâmetros de produção, Oliveira et al. (2006) criaram frangos de 1 a 42 dias de idade em três ambientes, sendo eles conforto térmico (25 ° C e 63% de UR), calor seco (35 ° C e 40% de UR) e calor úmido (31% e 75% de UR). Estes autores perceberam que o ambiente de calor influenciou negativamente o consumo de ração e o ganho de peso das aves em todos os períodos estudados. Entretanto, este efeito foi mais acentuado nas aves mantidas em ambiente de calor úmido.

Para auxiliar no controle do microclima no interior das instalações e tentar proporcionar condições de conforto térmico, a ventilação é considerada um meio eficiente, pois aumenta as trocas de calor por convecção, promove a eliminação do excesso de umidade do ambiente e da cama, proveniente da água liberada pela respiração das aves e através dos dejetos, para permitir a renovação do ar regulando o nível de oxigênio necessário às aves, eliminando gás carbônico e gases de fermentação dentro das instalações avícolas (Abreu & Abreu, 2000). Sendo assim, de acordo com Menegali (2009), a velocidade do vento deve variar entre 2,29 e 2,41 m s⁻¹ para aves adultas. Já para Medeiros et al. (2005) a velocidade do ar recomendada é de 1,5 m s⁻¹ para frangos adultos.

Diversos autores mostraram o efeito atenuante da ventilação sobre o desconforto térmico por calor para frangos de corte (Lopes, 1986; Medeiros, 2001), aumentando-se a velocidade do ar, aumenta-se a região de máxima produção e a região de conforto térmico para os frangos de corte.

A ventilação adequada dentro de uma instalação deve permitir a renovação do ar contaminado, favorecer a entrada de ar puro e reduzir o excesso de calor existente. O movimento de ar também, sobre a superfície corporal das aves, facilita a perda de calor do animal para o ambiente por processos convectivos, sendo este, o processo de maior eficiência quando se trata de condições com altas temperaturas associadas a altas umidades relativas do ar (Lourençoni, 2017).

Diante do exposto, nota-se que a produtividade ideal da ave depende, dentre outros fatores, das condições térmicas do ambiente do alojamento que refletem a combinação

dos efeitos da temperatura do ar, da umidade relativa, da radiação solar incidente e da velocidade do ar a que a ave está submetida (Garcia et al., 2012).

3.3 Índices de conforto térmico

A temperatura, a umidade, o movimento do ar e a radiação são fatores ambientais que influenciam muito no conforto térmico ambiental (Buffington et al., 1981; Garcia et al., 2012). Entretanto, a utilização isolada desses fatores não permite caracterizar adequadamente o ambiente térmico. Dessa forma, têm-se proposto a utilização de índices térmicos ambientais ou grandezas físicas para caracterizar o ambiente térmico dentro do aviário.

Desde que foram reconhecidas as diferenças entre os animais quanto à capacidade de enfrentar as variações climáticas do meio em que vivem, têm sido feitas tentativas para que se estabeleçam critérios de classificação dos diversos ambientes e combinações de fatores que proporcionem conforto térmico aos animais. Neste contexto, diversos índices do ambiente térmico têm sido desenvolvidos, englobando em um único parâmetro, o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente (Almeida, 2011).

Os índices destinados à classificação do ambiente agregam os efeitos de elementos climáticos em um só valor. Assim, vários índices bioclimáticos têm sido desenvolvidos com o objetivo de expressar o conforto e o desconforto dos animais em relação a determinados ambientes (Almeida, 2011).

Um dos índices mais utilizados para avaliar o conforto térmico animal é o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade, ITGU, desenvolvido por Buffington et al., (1981), para vacas leiteiras. Neste índice usa-se a temperatura de globo negro e a temperatura do ponto de orvalho.

Além do ITGU, a carga térmica radiante (CTR) é um índice bastante utilizado, sendo que o mesmo expressa a sensação térmica dos animais em relação ao ambiente. É um índice proposto por Esmay (1979), baseado na radiação total recebida por um corpo em relação ao espaço que o circunda. Essa definição não engloba a troca líquida de radiação entre o corpo e o seu meio circundante, mas inclui a radiação incidente no corpo (Souza et al, 2002).

Além destes índices descritos anteriormente, a Entalpia, grandeza física, também tem sido muito utilizada para avaliar o ambiente em que o animal se encontra, sabendo que a temperatura e a umidade relativa do ar são consideradas os principais elementos

climáticos responsáveis pelo incremento calórico à temperatura corporal dos animais (Brito, 2012).

A entalpia é uma grandeza física que indica a quantidade de energia (expressa em kJ kg^{-1} de ar seco), contida em uma mistura de vapor-d'água. Portanto, na mudança de temperatura para umidade relativa constante, ou vice-versa, há alteração da energia envolvida no processo, afetando a troca térmica. A entalpia é considerada por Rodrigues et al. (2010), a melhor forma de se avaliar o nível de conforto térmico, pois quantifica a energia do ar, que é a combinação entre as condições de temperatura e umidade relativa. Um animal criado em condições térmicas de altas temperaturas dispense maior quantidade de energia para ajustar seu metabolismo e temperatura corporal, o que pode levá-lo a uma considerável queda na produção.

3.4 Estresse térmico e mecanismos de troca de calor

O estresse é uma condição adversa que os animais podem enfrentar durante o seu desenvolvimento, onde os mesmos podem sofrer com diversos tipos de estresse, porém o estresse térmico é preocupante na cadeia produtiva de frangos de corte, pois causa efeito nos índices zootécnicos dos animais. No Brasil, o estresse térmico por calor é o mais comum e essa situação ocorre quando um animal está submetido a temperaturas elevadas e o seu corpo produz mais calor do que pode dissipar (Queiroz, 2018).

A produção agropecuária em países de clima tropical e subtropical é afetada pelos elevados valores de temperatura, os quais podem interferir negativamente na produção de frango de corte, principalmente quando estas estão na fase final de criação. Quando exposta a condição de estresse térmico por elevadas temperaturas, ocorre a diminuição no consumo de ração e, conseqüentemente, redução no ganho de peso e pior conversão alimentar (Müller, 1982; Nääs, 1989). Estudos observaram que aves expostas a condições de estresse térmico por calor, apresentaram alto risco de perda produtiva, podendo levar à morte (Nienaber & Hahn, 2004; Salgado, 2006; Vale et al., 2008).

Frangos de corte são animais muito susceptíveis aos efeitos da temperatura ambiente e todo seu desenvolvimento e crescimento vai ser em resposta as condições dos ambientes que estão inseridos. Por serem animais mais sensíveis a elevadas temperaturas, as aves sofrem inúmeras perdas, não só produtivas, mas também econômicas, principalmente na fase final de sua produção, em consequência do estresse térmico

afetando na redução dos índices zootécnicos e no aumento da mortalidade (Silva et al., 2015).

O estresse por calor ao frango de corte não está associado apenas à temperatura, mas também à umidade relativa do ambiente. Quando a temperatura se apresenta acima do ideal, é acionado o mecanismo de perda de calor latente por evaporação - por meio da respiração (Marder & Arad, 1989) e perda de calor sensível pela pele da ave (Webster & King, 1987).

As trocas de calor sensível dependem de um diferencial de temperatura para ocorrer, e o fluxo de calor sempre sai do corpo ou superfície de maior temperatura em direção a locais de menor temperatura. Os gastos energéticos para a manutenção da temperatura corporal pelos mecanismos em questão são muito menores do que os necessários para a manutenção da perda de calor por meio da evaporação respiratória, que para frangos de corte se torna o principal mecanismo quando as aves estão em ambientes com altas temperaturas. Portanto, qualquer mudança das perdas de calor latente em relação à de calor sensível reduz a energia gasta para a manutenção e aumenta o conteúdo de energia disponível para o crescimento (Yahav et al., 2004).

De acordo com Macari et. al. (2002), a ave tem pouco gasto de energia para ativar os mecanismos termorregulatórios quando há um gradiente de temperatura entre o ambiente e a pele do animal, entretanto quando essa diferença aproxima-se de zero, a ave não consegue perder calor através dos mecanismos sensíveis, ativando, assim, os processos latentes de perda de energia (evaporação). Como nas aves há pouca ou nenhuma sudorese, devido ao fato de que estes animais, em geral, serem desprovidos de glândulas sudoríparas, o processo de perda de calor dependerá da evaporação respiratória. Por isso quando a temperatura interna das aves aumenta, a mesma é acompanhada do aumento da frequência respiratória.

Dessa forma, em altas temperaturas, a dissipação de calor por resfriamento evaporativo pode ser impedida pela alta umidade relativa, pois quando a umidade relativa no interior das instalações ultrapassam níveis de 80%, as aves apresentam maiores dificuldades na troca de calor latente (Medeiros et al., 2005; Jácome et al., 2007).

Silva & Vieira (2010) afirmaram que umidade elevada (acima de 85%) certamente dificultará as trocas térmicas das aves, pois a evaporação da água passa a ser limitada em função da quantidade de vapor d'água na atmosfera e quando isto acontece, as aves apresentam dificuldades de trocas térmicas com o meio, aumentando o estresse térmico e consequentemente as perdas por mortalidade.

Ponciano et al. (2011) relataram que quanto maior a umidade relativa do ar, mais dificuldade a ave tem de remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Como a taxa de respiração é praticamente constante, a dissipação de calor por evaporação varia com o teor de umidade do ar (Abreu & Abreu, 2011). Para se defenderem das altas e baixas temperaturas, as aves alteram seu comportamento e utilizam recursos fisiológicos (Sarmiento et al., 2005).

3.5 Tipologias de aviários para frangos de corte

Muitas das instalações zootécnicas utilizadas no Brasil são projetadas baseadas em instalações de regiões do país, com clima diferente, que as inviabilizam de serem usadas em outros estados. Além disso, é comum a construção de instalações sem que sejam feitos estudos sobre o clima do local, sem a escolha de materiais construtivos ideais para cada região e sem que seja considerada as características da espécie animal que será criada neste ambiente. Dessa maneira, o conhecimento da realidade climática da região é fundamental pois permite o planejamento, a concepção arquitetônica e orientação dos avicultores quanto ao melhor manejo ambiental, tendo como consequência maior produtividade e redução dos custos de produção de aves por meio da adequação dos sistemas artificiais de condicionamento térmico às condições ambientais e necessidades das aves (Abreu & Abreu, 2011).

Para propiciar melhor conforto térmico e melhoria na sanidade das aves, diversos autores (Baeta, 1997; Teixeira, 1997; Tinôco, 2001; Perdomo, 2001; Nääs et al., 2001; Furtado et al., 2005) recomendaram as seguintes características tipológicas das instalações destinadas ao alojamento de aves de corte: afastamento entre galpões de 10 vezes a altura da construção ou, no mínimo, 30 m entre si; a largura da instalação deve variar em função do clima local e ventilação natural desejável; o comprimento pode variar de 100 a 150 m, visando otimizar equipamentos como comedouros e bebedouros; os materiais de cobertura devem possuir boas características refletivas e baixa absorvidade; beirais projetados de forma a evitar a penetração de chuvas, ventos e raios solares, em ambas as faces, norte e sul do telhado; mureta com menor altura possível, aproximadamente 0,2 m, permitindo a entrada do ar no nível das aves e evitando a entrada de água de chuva; cortinas nas laterais do galpão para evitar penetração de sol e da chuva, controlando a ventilação no interior do aviário; bebedouros que propiciem boa distribuição de água ao lote, principalmente sob condições de estresse térmico e, caso

necessário, sistemas artificiais de condicionamento do ambiente, como por exemplo aquecedores e ventiladores.

De acordo com Furtado et al. (2005), a largura do galpão tem grande influência no condicionamento térmico interno e em seu custo, havendo uma tendência mundial de se projetarem galpões de 10 a 12 m de largura e 100 a 125 m de comprimento, com vistas a otimizar o uso de equipamentos automáticos (bebedouros e comedouros), com predominância de sistemas de climatização artificial.

Para Paula et al. (2012), para os galpões com 12 m de largura, a influência da renovação natural do ar é limitada e, neste caso, o ideal seria a utilização de sistemas de climatização artificial (ventiladores associados a nebulizadores) nos horários mais quentes do dia, com o intuito de minimizar os efeitos dos agentes estressores. Estes autores também afirmam que em regiões de clima quente, o ideal é a construção de galpões com largura de 8 a 10 m, com abertura lateral para explorar a ventilação natural, com redução na necessidade de investimentos em climatização artificial e economia de energia elétrica.

Quanto aos beirais, Paula et al. (2012), para locais de clima quente, indicam a projeção dos mesmos de 1,2 a 2,5 m, em ambas as faces, norte e sul do telhado para evitar a incidência da radiação solar direta no piso, a penetração de chuvas e o vento excessivo no interior da instalação.

Quanto à cobertura, Baêta & Souza (2010), indicam a utilização de telhas cerâmicas por se tratar de material poroso de alta inércia térmica, que reduz a transferência de energia para o interior das instalações.

Para Cravo et al.(2012), as instalações avícolas, por serem responsáveis pelo microclima interno nos aviários, devem ser projetadas tornando-se necessário diagnosticar os diferentes tipos de materiais empregados nessas instalações, pois essas informações são relevantes para que os pesquisadores possam estudar formas de aprimorar os materiais e até mesmo buscar materiais alternativos.

3.6 Cobertura nas instalações rurais

Segundo Sampaio et al. (2011), o telhado é o elemento construtivo mais importante de uma edificação, e tal fato deve-se à grande área de interceptação de radiação e que, em regiões tropicais, a escolha adequada da telha torna-se fator principal para o conforto térmico. De acordo com Baêta & Souza (2010), o uso de instalações com materiais adequados de cobertura pode promover a redução de até 30% da carga térmica

radiante quando comparado com situações de exposição à radiação solar direta, melhorando assim, o estado de conforto térmico de seus ocupantes.

De acordo com Conceição et al. (2008) o tipo de material constituinte utilizado na construção determina a quantidade de radiação que passará para o interior da edificação, implicando no aumento da temperatura do ar em seu interior.

Corroborando com as informações anteriores, Baêta & Souza (2010) afirmam que a principal proteção contra a insolação direta é conseguida através da cobertura, sendo que um bom material de cobertura apresenta temperaturas superficiais amenas, devendo para isso ter alta refletividade solar conjugada à alta emissividade térmica na parte superior da superfície e baixa absortividade solar conjugada à baixa emissividade térmica na parte inferior.

Dentre os tipos de telhas mais utilizados e estudados em instalações rurais estão as telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento e telhas metálicas. Silva et al. (2015), verificaram o desempenho térmico de telhas cerâmicas e telhas metálicas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas. Sampaio et al. (2011), avaliaram as temperaturas superficiais externas e internas de telhas de barro, fibrocimento e aço galvanizado na região sul do país. Fiorelli et al. (2010), verificaram a influência de telhas cerâmicas e fibrocimento no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista.

Além das telhas citadas anteriormente, o mercado dispõe de outros tipos de telhas que tem como objetivo melhorar as condições de conforto térmico no interior de instalações. Dentre estas opções estão as telhas termoacústicas. As telhas termoacústicas são basicamente formadas por duas chapas metálicas, cujo interior é composto por uma camada de material isolante. Tem como principal finalidade o isolamento térmico e acústico, melhorando a qualidade do ambiente interno da edificação (Bellei, 2006).

3.7 Transferência de calor em coberturas

Em se tratando de galpões de grande extensão, como geralmente é o caso das instalações avícolas, os telhados são a superfície com maior área de exposição, constituindo a primeira barreira ao aquecimento advindo da radiação solar, dado que o fluxo energético que atravessa as paredes verticais nestes casos é de menor relevância, devido à menor área de exposição das mesmas (Galindo, 2015).

A radiação solar é composta por radiação de onda curta, que ao incidir sobre a superfície das telhas, as aquece. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e

irradiação ao ambiente externo e a outra parcela, absorvida pelas telhas, é transmitida para o espaço interno da instalação (Michels et al., 2008).

O desempenho térmico das coberturas depende da parcela de radiação solar que é absorvida, assim como das propriedades dos elementos que compõem a cobertura, como, dentre outros, a cor da superfície externa, o material da cobertura, suas propriedades térmicas, e a ventilação existente no ático (Suetake, 2017).

Desta forma, para reduzir a transferência de calor de um corpo para o outro, é necessário utilizar materiais que dificultam a passagem do calor por condução e que minimizam a transferência de calor por radiação, ou seja, isolantes térmicos (Vittorino et al., 2003). Ou seja, é necessário utilizar materiais que apresentem baixo coeficiente de absorção, baixa condutividade térmica e maior retardo térmico (Tonoli et al., 2011).

Conforme Al-Homoud (2005), o isolamento térmico é formado por um material ou combinação de materiais, que, quando aplicados corretamente, retardam a passagem do fluxo de calor que atravessa o envelope da edificação por condução, convecção e/ou radiação. Esta capacidade de reduzir as trocas de calor é função da resistência térmica que materiais isolantes proporcionam.

3.8 Simulação computacional

Variadas são as definições dadas à simulação, porém existe uma semelhança muito grande entre as mesmas. Miyage (2006) define: “Simulação é, em geral, entendida como a “imitação” de uma operação ou de um processo do mundo real. A simulação envolve a geração de uma “história artificial” de um sistema para a análise de suas características operacionais”. Segundo Prado (2010), simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

A aceitação e uso da simulação têm sido cada vez maiores, já que ela permite aos analistas das mais diversas áreas compararem possíveis soluções a determinado problema com maior profundidade. E com o desenvolvimento do ambiente de trabalho e dos sistemas computacionais e a facilidade de acesso a estas ferramentas tem aumentado ainda mais o uso da simulação (Freitas Filho, 2008).

Dentre as inúmeras áreas que têm utilizado destas ferramentas computacionais para o auxílio no processo de tomada de decisão, o uso da modelagem computacional nos estudos de ambiência tem se tornado cada vez mais frequentes, permitindo, de forma rápida, a solução de diversos problemas, com baixo custo em comparação a métodos

experimentais. A simulação permite testar várias condições de projeto dentro de um ambiente virtual, reduzindo o número de experimentos físicos (Sabino, 2015).

As instalações avícolas, em geral, são caracterizadas por suas grandes dimensões, o que pode, em determinados casos, inviabilizar a execução de experimentos devido ao grande tempo despendido, alto custo financeiro das adaptações e, também, pela dificuldade de instrumentação em busca de resultados confiáveis (Cunha, 2014).

Desta forma pesquisadores vêm utilizando a simulação computacional como ferramenta em estudos relacionados à avicultura, como Angelo (2013), que utilizou um programa computacional para o cálculo de índices de conforto térmico na produção industrial de frangos; Cordeiro et al. (2016), simularam e analisaram o conforto térmico dos frangos em aviários; Vigoderis et al. (2016), fizeram uso da simulação computacional como ferramenta de tomada de decisão na implantação de aviários climatizados no estado de Pernambuco; Batista & Neitzel (2018), simularam um aviário com o intuito de analisar as condições de conforto para as aves.

Diante do exposto, nota-se que a utilização de um modelo ocorre devido, em muitos casos, à impossibilidade de se realizar experimentos com o sistema real (que pode até mesmo não existir) ou como forma de simplificar o sistema real, destacando os elementos relevantes da dinâmica do sistema (Barbosa et al., 2002).

Entre os programas de simulação voltados à edificação destacam-se os de desempenho térmico e energético, bem como os de predição da ventilação, baseados na dinâmica dos fluidos computacional, ou CFD. Existem diversos programas de simulação energética utilizados em centros de pesquisa por todo o mundo, inclusive no Brasil, como o ESP-r, ENERGYPLUS, TRNSYS e DOE (Mendes et al, 2001).

Segundo o Building Energy Tools Directory, site mantido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, no ano de 2015 já encontravam-se disponíveis no mercado mais de 400 ferramentas de simulação para avaliar a eficiência energética, renovável e sustentabilidade em edifícios, sendo que a escolha do programa a ser utilizado deve estar relacionada à amplitude do escopo de análise e à precisão e eficiência de seus resultados (Us Department of Energy, 2015).

3.9 EnergyPlus™

Uma das formas de controlar e verificar o desempenho energético numa instalação é através da simulação do seu comportamento térmico, recorrendo ao uso de ferramentas informáticas próprias, como o *EnergyPlus™*. O *EnergyPlus™* é um programa que

permite simular o comportamento térmico e energético de uma instalação, em questões de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e energia, possibilitando uma análise das várias características (EnergyPlus Energy Simulation Software).

O programa computacional *EnergyPlusTM* é uma ferramenta desenvolvida por Lawrence Berkeley National Laboratory em sociedade com outros laboratórios para o Departamento de Energia Norte-Americano (DOE). Esse software permite a elaboração da estrutura física da instalação, definição de equipamentos interiores e a criação de parâmetros desejados para a obtenção de resultados.

O programa também permite a análise das cargas térmicas advindas dos componentes construtivos, possibilitando a verificação do desempenho térmico de diferentes tipologias de edificações, inclusive aquelas não condicionadas (ventilação natural), considerando as condições ambientais dos locais onde as mesmas encontram-se inseridas (Batista et al, 2005).

Marques (2013), utilizou o *EnergyPlusTM* para analisar a influência conjugada da transmitância térmica da envolvente opaca (paredes e coberturas) e de outros parâmetros (cor das superfícies exteriores, inércia das paredes externas, e ventilação natural) no desempenho térmico de edifícios habitacionais de interesse social na cidade de São Carlos, SP, recomendando, como parte das suas conclusões, que a avaliação de desempenho térmico seja sempre feita através da simulação computacional.

Shaw (2018), ao estudar a eficiência térmica de coberturas ventiladas no clima tropical semiárido, a partir das simulações em *EnergyPlusTM*, constatou uma relação direta entre o tipo de cobertura e a carga térmica.

Silva (2010), ao verificar a aplicação do programa *EnergyPlusTM* como ferramenta do projeto de comportamento térmico de edifícios de habitação, concluiu que, de acordo com as comparações das medições “in situ” e dos resultados do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, o *EnergyPlusTM* é uma ferramenta de simulação térmica e energética útil e eficiente.

Caneppele et al. (2013), ao avaliar a eficiência energética e custo benefício no uso de coberturas metálicas em supermercados empregando o software *EnergyPlusTM* pôde verificar que o uso de telha sanduiche chegou a ser 30% mais econômica energeticamente que o uso de telha de alumínio com e sem manta.

Segundo Silva (2010), é possível definir uma simulação energética com base numa metodologia de três passos. Primeiro é necessário criar o modelo no programa, introduzir os vários dados que definem o edifício, como é o caso da sua geometria,

dimensões e constituição. Em segundo o programa corre a simulação calculando o proposto pelo utilizador, tendo em conta um ficheiro de dados climáticos proposto pelo mesmo. Por último, analisam-se os resultados e tiram-se as conclusões, elaborando, se for o caso, análises de sensibilidade das várias variáveis inerentes ao edifício.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram adotados procedimentos de diagnóstico das características microclimáticas de um galpão aviário destinado à criação de frangos de corte em dois períodos experimentais, inverno e verão, bem como foi feita a avaliação do desempenho térmico desta instalação por meio de simulações numéricas.

As simulações foram realizadas pelo Software *EnergyPlus*TM, e os modelos desenvolvidos para a avaliação do desempenho térmico tiveram como referência as características reais do aviário estudado, fazendo modificações apenas no tipo de telha.

A seguir serão descritas as etapas do processo de diagnóstico do microclima no interior do aviário e posteriormente as etapas do processo de simulação.

4.1 Primeira etapa

Diagnóstico microclimático de um galpão aviário (fase experimental).

4.1.1 Local da instalação

O experimento foi conduzido em uma instalação destinada à criação de frangos de corte localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão), campus Petrolina Zona Rural, situado na PE 647, Km 22, Projeto Senador Nilo Coelho N4. Este município encontra-se distante 721 Km da capital, está localizada a 09°09'S e 40°22'W, com altitude média de 365 m, apresenta clima tropical semiárido, tipo BshW, seco e quente, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger. Os dados foram registrados nos meses de julho de 2019 (inverno), janeiro e fevereiro de 2020 (verão). Cada período experimental teve uma duração de 30 dias de coleta.

4.1.2 Características do aviário

O galpão aviário em que o experimento foi conduzido possui as seguintes características construtivas: largura de 8,0 m; comprimento de 14,0 m, área total de 112 m², pé direito de 2,5 m, lanternim com 1,0 m de largura, beiral de 0,5 m nas fachadas norte e sul e 1,0 m na fachada leste. A orientação da instalação é Leste-Oeste, onde a mesma possui piso concretado, cobertura com estrutura de madeira e telha cerâmica com inclinação de 25%. O aviário possui nas fachadas norte e sul muretas de 0,65 m e

janelas com dimensões de 3,25 m de largura e 1,60 m de altura. Estas janelas são teladas. Na fachada sul, além de janelas, há também uma porta com largura de 1,0 m que dá acesso ao solário. Esta instalação está ilustrada pela Figura 2.



a. Fachada norte



b. Interior da instalação

Figura 2. Vista geral da instalação e estrutura da cobertura no interior do aviário.

4.1.3 Registro dos parâmetros ambientais

As variáveis microclimáticas no interior e exterior do aviário foram coletadas em duas estações, inverno e verão. Os dados referentes à estação de inverno foram coletados no mês de julho de 2019 e os dados do verão nos meses de janeiro e fevereiro de 2020. Cada período experimental durou 30 dias.

Os elementos ambientais mensurados foram: temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo negro. Estes dados foram coletados através de uma estação meteorológica automática da Campbell (Figura 3) composta por sensores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), e velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Já temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$) foi mensurada e registrada por meio de um datalogger HOBO. As especificações dos equipamentos estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 2. Descrição dos equipamentos utilizados na etapa experimental para avaliação das variáveis microclimáticas.

Equipamento	Modelo	Variáveis medidas	Precisão	Variação
Datalogger	HOBO H12	Temperatura e Umidade relativa	$\pm 0,35 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 2,5 \%$	–
			$\pm 0,35 \text{ }^\circ\text{C}$ até 25 $^\circ\text{C}$;	- 40 $^\circ\text{C}$ a 70 $^\circ\text{C}$
		Temperatura do ar	$\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ entre 25 e 40 $^\circ\text{C}$;	
Mini estação meteorológica	Campbel CR 1000		0,9 $^\circ\text{C}$ fora destes	
		Umidade relativa	$\pm 2 \%$ entre 10 e 90%; $\pm 4\%$ fora destes	0 a 100 %
		Velocidade do ar	$\pm 0,5 \text{ m/s}$	0 a 50 m/s
		Direção do ar	$\pm 7^\circ$	360 $^\circ$

Os equipamentos meteorológicos foram instalados na parte interna e externa do aviário, a uma altura de 1,50 m, onde permaneceram funcionando durante todo o período experimental, nas duas estações estudadas. Todos os sensores, exceto o de temperatura de globo negro, foram acoplados a um sistema automático de coleta de dados Micrologger CR1000, programado para efetuar leituras a cada 15 minutos e médias a cada hora, assim como o datalogger HOBO.



a. Interior do aviário



b. Exterior do aviário

Figura 3. Equipamento meteorológico montado na parte interna e externa do aviário.

4.1.4 Determinação dos Índices de Conforto

Com os dados microclimáticos obtidos foram calculados os seguintes índices de conforto térmico: Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade – ITGU; Índice de Carga Térmica Radiante - CTR; e a variável termodinâmica Entalpia (H).

O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) foi determinado pela expressão proposta por Buffington et al, (1981):

$$ITGU = Tg + 0,36Tpo + 41,5 \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo:

ITGU = Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade;

Tg = Temperatura de globo negro (°C);

Tpo = Temperatura do ponto de orvalho (°C).

A Carga Térmica Radiante (CTR) indicada por Campos (1986) foi calculada pela equação de Stefan-Boltzmann, conforme proposto por (Souza, 2002):

$$CTR = \sigma(TRM)^4 \quad \text{Eq. (2)}$$

Sendo:

CTR = Carga térmica radiante (W.m^{-2});

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

TRM = Temperatura Radiante Média (K). Esta é a temperatura de uma circunvizinhança considerada uniformemente negra, de modo a eliminar o efeito de reflexão, com o qual um corpo (globo negro) troca energia de forma semelhante ao ambiente atual considerado (Bond & Kelly, 1955).

A TMR foi expressa pela equação 3:

$$TMR = 100[2,51 * (V)^{0,5} * (Tg - Tbs) + \left(\frac{Tg}{100}\right)^4]^{1/4} \text{ Eq. (3)}$$

Sendo:

V = Velocidade do ar (m/s);

Tg = Temperatura de globo negro (K);

Tbs = Temperatura de bulbo seco (K).

A Entalpia foi calculada pela equação proposta por Rodrigues et al. (2010) onde:

$$h = 1,006.t + \frac{UR}{PB} 10^{\left(\frac{7,5t}{273,3+t}\right)}. (71,28 + 0,052t) \text{ Eq. (4)}$$

Sendo:

h = Entalpia (kJ.kg ar seco⁻¹);

t = Temperatura do ar (°C);

UR = Umidade Relativa do ar (%);

PB = Pressão barométrica local (mmHg).

4.2 Segunda etapa

Avaliação do desempenho térmico do galpão aviário por meio de simulações numéricas (fase de modelagem computacional).

4.2.1 Simulação tridimensional

Após o diagnóstico microclimático do galpão avícola, objeto de estudo desta pesquisa, o mesmo foi modelado no OpenStudio® SketchUp Plug-in, extensão da ferramenta de modelagem SketchUp 3D da Trimble, que permite aos usuários criar rapidamente a geometria necessária para o *EnergyPlus*TM.

Todo o interior da instalação, por não possuir subdivisões, foi considerado como uma zona térmica, e ainda no OpenStudio® foram definidos todos os seus materiais construtivos considerando as superfícies externas, internas, piso e aberturas. Nesta etapa, foi necessário ter conhecimento das propriedades térmicas e físicas dos materiais construtivos, tais como, condutividade térmica (W/m.K), calor específico (kJ/kg.K), densidade de massa aparente (kg/m³), e espessura (m).

Inicialmente a simulação consistiu em modelar a instalação com suas características construtivas reais (Figura 4) e em seguida foram criados outros modelos modificando apenas o tipo de telha, considerando a inclinação recomendada para cada uma delas.

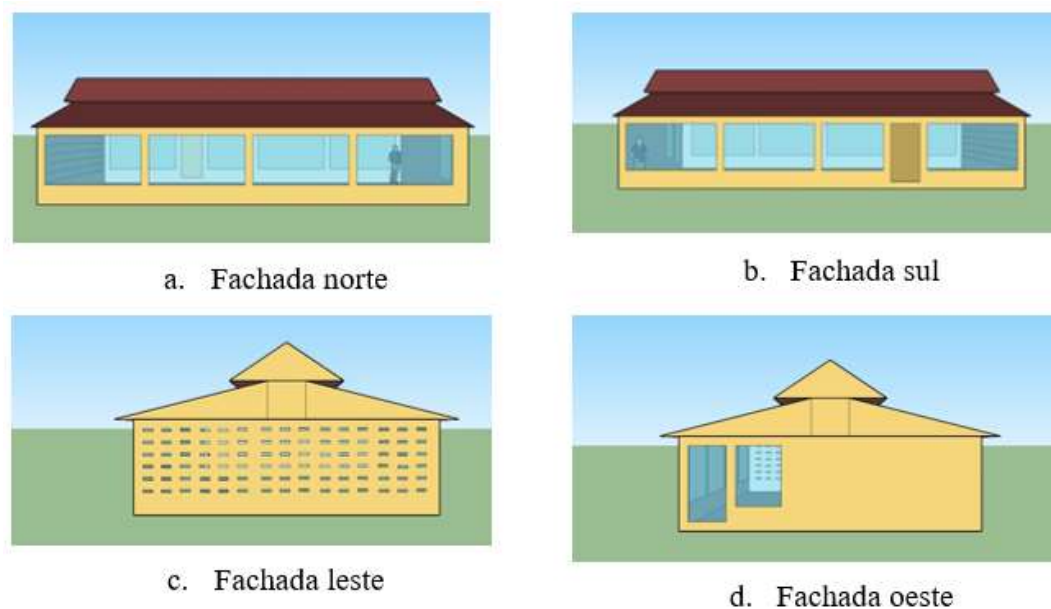


Figura 4. Modelo do aviário estudado com suas características reais.

4.2.2 Propriedades físicas e térmicas dos materiais construtivos

Para realizar a análise térmica da instalação foi necessário descrever toda a estrutura física da mesma e criar os modelos como descrito anteriormente. Em seguida foram inseridas no programa OpenStudio® SketchUp Plug-in as propriedades dos materiais utilizados no modelo desenvolvido. As características físicas e térmicas dos materiais são de suma importância no cálculo da carga térmica, pois influenciam imensamente nas trocas de calor.

As propriedades físicas e térmicas dos elementos construtivos que foram empregados na simulação estão descritos nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Propriedades físicas e térmicas dos materiais das paredes.

Material	Características dos materiais
Tijolo cerâmico	Composição: Material cerâmico Espessura: 9,0 cm Condutividade Térmica: 1,05 W/m.K Massa específica: 2000 kg/m ³ Calor específico: 0,92 kJ/kg.K Fonte: NBR 15220, 2003
Argamassa	Composição: Cimento, areia e água Espessura: 2,5 cm

	Condutividade Térmica: 1,15 W/m.K Massa específica: 2000 kg/m ³ Calor específico: 1,00 kJ/kg.K Fonte: NBR 15220, 2003
Tela de Alumínio	Composição: Alumínio Espessura: 0,05 cm Condutividade Térmica: 230 W/m.K Massa específica: 2700 kg/m ³ Calor específico: 0,88 kJ/kg.K Fonte: NBR 15220, 2003

Tabela 4. Propriedades físicas e térmicas das telhas analisadas.

Tipos de telha	Características das telhas
Telha cerâmica	Composição: Material cerâmico Espessura: 2,0 cm Condutividade Térmica: 1,05 W/m.K Massa específica: 2000 kg/m ³ Calor específico: 0,92 kJ/kg.K Inclinação: 25% Fonte: NBR 15220, 2003
Telha de fibrocimento	Composição: Cimento reforçado com fio sintético Espessura: 2,0 cm Condutividade Térmica: 0,95 W/m.K Massa específica: 1900 kg/m ³ Calor específico: 0,84 kJ/kg.K Inclinação: 15% Fonte: LabEEE, 2011
Telha metálica	Composição: Aço galvanizado Espessura: 0,05 cm Condutividade Térmica: 55 W/m.K Massa específica: 7800 kg/m ³ Calor específico: 0,46 kJ/kg.K Inclinação: 15% Fonte: NBR 15220, 2003; Dias, 2011
Telha termoacústica	Composição: Aço galvanizado + poliuretano + aço galvanizado Espessura: 2,0 cm Dados do poliuretano: Condutividade Térmica: 0,03 W/m.K Massa específica: 20 kg/m ³ Calor específico: 0,16 kJ/kg.K Inclinação: 10% Fonte: Dias, 2011

Para avaliar o desempenho térmico do aviário, foram feitas simulações com diferentes tipos de telhas (cerâmica, fibrocimento, metálica e termoacústica). A simulação foi realizada com o galpão em condições vazias, ou seja, sem aparelho elétrico e sem

ocupantes. Esta consideração foi utilizada para poder estimar a carga térmica devido ao desempenho de cada tipo de telha.

4.2.3 Simulação no *EnergyPlus*TM

Os modelos foram inseridos no *EnergyPlus*TM para a simulação do desempenho termoenergético para o clima de Petrolina - PE, do tipo tropical semiárido, seco e quente. Os arquivos climáticos, servidos como dados de entrada no *EnergyPlus*TM, foram inseridos através da metodologia adotada pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

Após modelar a instalação e fornecer todas as condicionantes, foi necessário fornecer os parâmetros climáticos, sendo que o programa possui um acervo de dados climáticos que incluem as condições ambientais. Esses dados estão disponíveis no site do *EnergyPlus*TM.

Para avaliar o desempenho térmico do aviário com diferentes tipos de telhas, foram simulados os seguintes modelos:

Modelo 1: projeto real do aviário (telha cerâmica);

Modelo 2: aviário com telhas de fibrocimento;

Modelo 3: aviário com telhas metálicas;

Modelo 4: aviário com telhas termoacústicas.

As simulações da temperatura do ar, umidade relativa e ITU foram estabelecidas para duas estações, inverno e verão. Já a simulação da carga térmica ocorreu para um dia típico de projeto, ou seja, o dia mais quente do ano. O arquivo climático foi inserido através da metodologia adotada pelo do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), descrito a seguir. A partir dele foi determinado o dia típico de verão, conforme sugerido por Siqueira et al. (2005) baseando-se numa série histórica dos dados climatológicos dos últimos dez anos.

4.2.4 Determinação do dia típico de verão pelo método do IPT para inserção no *EnergyPlus*TM

Segundo Goulart (1993), o dia típico de projeto é definido como um dia real numa determinada série histórica, caracterizado pelo valor horário da temperatura do ar, pela velocidade média predominante do vento ao longo desta série. Para a determinação deste dia típico, recomenda-se, uma fonte de dados de dez anos (Akutsu, 1998).

Para tal, analisou-se os dados históricos da estação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizando no campus de Ciências Agrárias

(Latitude - 9,32° e Longitude 40,56°), em Petrolina-PE, compreendidos entre janeiro de 2008 a dezembro de 2019.

Para a determinação do dia típico de projeto, Siqueira et al (2005) afirma que, deve-se fazer um tratamento estatístico dos valores das médias, máximas e mínimas diárias dos parâmetros climáticos locais. Sendo assim, analisou-se os dados históricos da estação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), localizada no campus de Ciências Agrárias (Latitude - 9,32° e Longitude 40,56°), em Petrolina-PE, obedecendo as seguintes etapas:

1ª Etapa: Inicialmente foi identificado, o mês mais quente do ano, utilizando-se as temperaturas máximas diárias para o período de verão.

Em seguida os dados correspondentes ao período de verão foram isolados. O período de verão é composto pelo mês mais quente e pelos meses que apresentarem, no máximo, uma diferença de α °C para o mês mais quente, sendo o mês mais quente aquele que apresentar o maior valor para a média das temperaturas máximas diárias e o parâmetro é dado pela equação (1).

$$\alpha = 0,10(Tbs_{m\acute{a}x} - Tbs_{m\acute{i}n}) \quad (5)$$

Em que, para o período de verão:

- $Tbs_{m\acute{a}x}$ - É a média das temperaturas máximas diárias do mês mais quente, em °C;
- $Tbs_{m\acute{i}n}$ - É a média das temperaturas mínimas diárias do mês mais quente, em °C.

Ao término da primeira etapa, constatou-se que os meses típicos de verão estavam no intervalo de novembro a março, sendo novembro o mês típico de verão. O maior valor obtido na série histórica dos últimos dez anos foi em novembro de 2015, alcançando 36,35 °C e sendo assim o valor de $Tbs_{m\acute{a}x}$.

Analisando a média das temperaturas mínimas, observou-se que seu menor valor foi 23,17 °C, datado em Novembro de 2012. Assim, o valor de alfa resultou em 1,32° C.

2ª Etapa: Após determinar o mês típico, passou-se para a segunda etapa, responsável por determinar os possíveis anos típicos. Para tanto, subtrai-se o alfa da temperatura de bulbo seco máxima mais elevada da série histórica, indicando assim os possíveis anos típicos.

Selecionou-se todos os anos em que a média das temperaturas máximas de Novembro estava entre 35 °C ($Tbs_{m\acute{a}x} - \alpha$) e 36,35° C ($Tbs_{m\acute{a}x}$), constatando que os anos típicos foram 2008, 2015 e 2016.

3ª Etapa: A terceira etapa consiste em determinar a temperatura típica de verão e para isso determinam-se os valores das temperaturas máximas diárias ($Tbs_{m\acute{a}x}$) dos anos

típicos. Tais valores são identificados por TV (temperatura de verão). Esses valores devem satisfazer o critério de que $Tbs_{máx}$ é maior ou igual a TV. Em seguida, extraem-se os dias com temperaturas dentro dos intervalos dados, pela Equação 2, conforme Siqueira et. al (2005).

$$Tbs_{máx} = (TV_{N\%}) \pm e \quad (6)$$

Considera-se $e = 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ como o valor máximo. O valor de e define um intervalo em torno dos valores $Tbs_{máx}$ e $Tbs_{mín}$, que indica a precisão requerida para a análise.

Nesta etapa obteve-se que a temperatura típica de verão seria $35,82 \text{ } ^\circ\text{C}$ (TV), assim foram eliminados todos os dias cuja temperatura máxima fosse menor que TV, restringiu-se a quantidade de dias típicos.

4ª Etapa: Nesta etapa foram selecionadas as temperaturas máximas diárias cujo o valor estava compreendido entre $Tbs_{máx}$ e TV. Calculando-se a média desses dados, foi obtido o valor de $36,10 \text{ } ^\circ\text{C}$.

5ª Etapa: Para estes os dias listados dentro dos intervalos encontrados, calculou-se a média das seguintes variáveis climáticas: Velocidade do Vento (VV) e Direção do Vento Predominante (DV).

Em seguida comparou-se a média diária à média geral, obtida na Etapa 4 ($36,10 \text{ } ^\circ\text{C}$). O dia que apresentou os valores mais próximos da média, foi o dia típico de projeto para o verão.

Os dias encontrados foram 02 e 16 de novembro de 2008. Descartou-se o dia 16, visto que em análise da radiação solar observou-se possível influência da nebulosidade.

Portanto, através do método do IPT, o dia 02 de novembro de 2008 foi considerado o dia típico de verão e os dados inseridos para o cálculo da carga térmica no *EnergyPlusTM* foram:

- Temperatura de bulbo seco - $36,11 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- Velocidade do ar - $4,37 \text{ m/s}$;
- Direção predominante dos ventos - $84 \text{ } ^\circ$;
- Amplitude térmica diária - $13,2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

4.3 Análise estatística

Os dados coletados na área interna e externa do aviário foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste F. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias admitindo-se uma probabilidade de erro de 5% ($P < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise das Variáveis Climáticas e Índices de Conforto Térmico

O resumo da análise de variância dos dados relacionados à temperatura do ar (TA) para os diferentes turnos estudados, nas áreas interna e externa do aviário, está apresentado na Tabela 5. Esses dados foram obtidos em função das estações do ano, inverno e verão, que corresponderam aos tratamentos experimentais. Observa-se que, com relação à temperatura do ar (TA), para todos os turnos e áreas, houve diferença significativa entre os tratamentos, a partir da análise de variância (ANOVA) e teste F, a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

Tabela 5. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão com relação à média da temperatura do ar (TA) para os diferentes turnos e áreas de coleta.

Turno	Área de coleta	FV ¹	GL ²	CV (%) ³	QM ⁴	Fc ⁵	Pr6>Fc
1	Interior do galpão	Tratamento	1	4,94	148,1453	114,341	0,0000
2	Interior do galpão	Tratamento	1	4,20	119,5679	105,793	0,0000
3	Interior do galpão	Tratamento	1	6,93	79,4650	18,191	0,0001
4	Interior do galpão	Tratamento	1	6,09	113,7127	45,277	0,0000
1	Exterior do galpão	Tratamento	1	6,84	84,5381	37,217	0,0000
2	Exterior do galpão	Tratamento	1	6,39	483,9928	179,927	0,0000
3	Exterior do galpão	Tratamento	1	8,48	308,4934	42,363	0,0000
4	Exterior do galpão	Tratamento	1	7,55	14,8504	4,068	0,0483

¹ Fonte de variação; ² Graus de liberdade; ³ Coeficiente de variação; ⁴ Quadrado médio; ⁵ estatística F; ⁶ valor-p.

Já a Figura 5 apresenta os resultados médios de temperatura do ar (TA), coletados nas partes interna (INT) e externa (EXT) do aviário, para os diferentes tratamentos, inverno e verão, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00.

As comparações das médias foram feitas apenas para as diferentes estações do ano (inverno e verão), para cada turno e área de coleta separadamente. Para todas as variáveis estudadas deve-se considerar que letras minúsculas representam as médias do ambiente interno e maiúsculas da área externa. Letras minúsculas e maiúsculas diferentes em cada turno diferem estatisticamente ($p < 0,05$) pelo teste de média de Tukey.

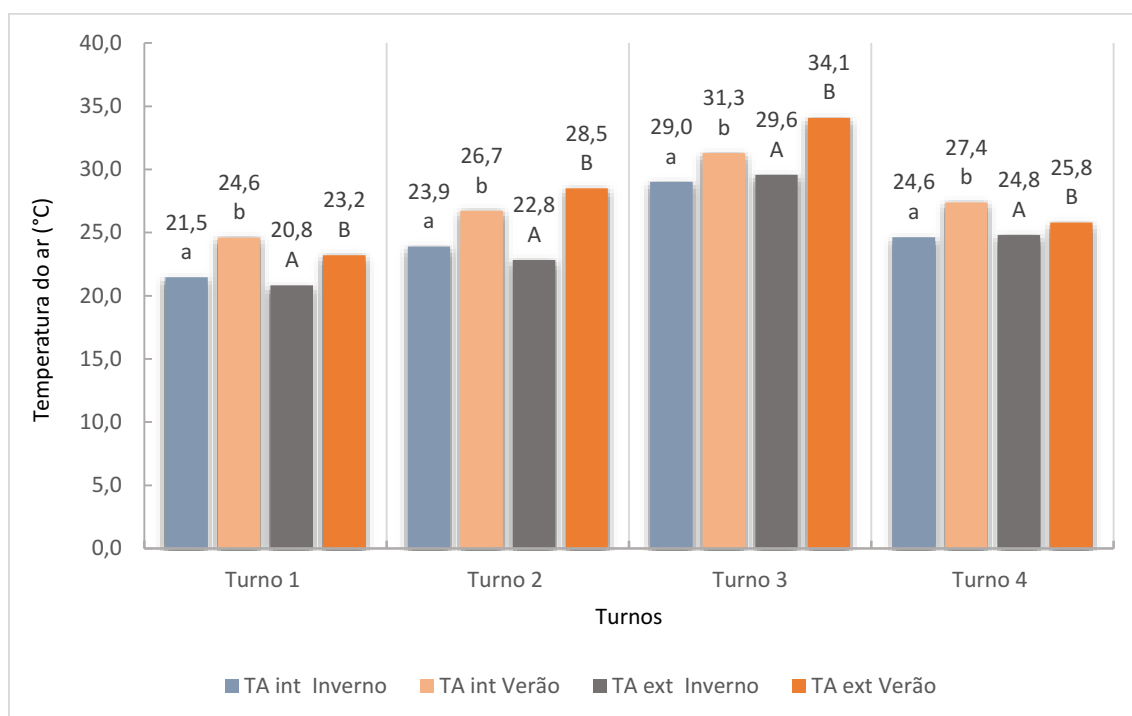


Figura 5. Temperatura do ar média no interior e exterior do aviário nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.

A análise estatística indicou que houve diferença significativa para os tratamentos estudados, inverno e verão, ($P < 0,05$) no que se refere aos dados de temperatura do ar (TA), em todos os turnos, tanto nos dados coletados no interior do aviário quanto no exterior, sendo que o teste de Tukey mostrou que as menores médias foram encontradas no tratamento inverno e as maiores no tratamento verão.

A partir da Figura 5 é possível verificar que, para os dois tratamentos, tanto na área externa quanto no interior do aviário, os valores médios horários da temperatura do ar, apresentaram variações semelhantes ao longo dos turnos, com os menores valores ocorrendo durante o turno 1 (1:00 às 6:00) e os maiores no turno 3 (13:00 às 18:00), sendo que, como citado anteriormente, para todos os turnos, os valores médios de temperatura do ar foram menores na estação de inverno, tanto na parte interna quanto na parte externa do aviário, devido aos menores índices de radiação solar característicos desta estação do ano.

Entretanto, apesar de haver essa diferença entre as estações, como já era esperado, nota-se que no interior da instalação essa variação entre a temperatura do ar no inverno e no verão não ultrapassou uma diferença de 14,4% (turno 2), mostrando que a região não apresenta grandes variações térmicas ao longo do ano, característica relacionada ao clima semiárido, apresentando nas duas estações estudadas altos valores de temperatura do ar ao longo do dia. Estes resultados mostram a possibilidade da instalação necessitar de artifícios para promover conforto térmico aos animais tanto no inverno quanto no verão.

A temperatura média no interior do aviário variou de 21,5 °C (turno 1) a 29,0 °C (turno 3) no inverno e de 24,6 °C (turno 1) a 31,3 °C (turno 3) no verão. Já na parte externa, a temperatura média variou de 20,8 °C (turno 1) a 29,6 °C (turno 3) no inverno e de 23,2 °C (turno 1) a 34,1 °C (turno 3) no verão. Nota-se que no interior da instalação, na estação de inverno, a amplitude térmica média para a temperatura do ar durante o dia foi de 7,5 °C, e no verão esta amplitude foi de 6,7 °C. Esta situação indica que possivelmente ao longo do dia, quando a instalação estiver ocupada, os animais confinados neste galpão necessitarão de maiores esforços fisiológicos para se adaptarem a uma acentuada mudança de temperatura, em um curto espaço de tempo, conseqüentemente, a demanda energética para manutenção da homeotermia dessas aves será aumentada, o que pode desfavorecer a produção. Segundo Nääs et al. (2001), a maior amplitude térmica dentro do galpão pode trazer sérios prejuízos às aves.

Já na área externa do aviário, durante o inverno a amplitude térmica foi de 8,8 °C e no verão foi de 10,9 °C. Estes resultados indicam que as condições climáticas do ambiente externo estão exercendo grande influência no ambiente interno do galpão, devido ao fato da instalação possuir grandes aberturas (janelas teladas), mostrando a necessidade de investimentos em materiais, equipamentos e técnicas de manejo que promovam ao máximo o isolamento térmico do aviário, buscando aumentar as condições

de conforto térmico das aves, e menor influência das condições climáticas externas sobre os animais.

Também é possível observar que os valores de temperatura do ar no interior do aviário mantiveram-se acima daqueles encontrados na área externa do galpão, nos turnos 1 e 4. Esse resultado está relacionado com a maior inércia térmica dos materiais que compõem a instalação, principalmente ao que se refere ao material de vedação, muretas de alvenaria, e do telhado, telhas cerâmicas, evitando assim mudanças bruscas de temperatura do ar no interior do galpão. Este comportamento é favorável para os animais confinados nas primeiras semanas de vida, pois o aviário consegue minimizar os efeitos adversos da temperatura do ar externo, que principalmente nos turnos 1 e 4, podem causar estresse térmico por frio para as aves nos primeiros dias de vida.

Já nos turnos 2 e 3, principalmente no verão, os valores da temperatura do ar dentro da instalação foram menores do que aqueles encontrados na parte externa, mostrando que, apesar do aviário não conseguir proporcionar condições de conforto térmico em todos os turnos para todas as fases de vida dos animais, as técnicas e materiais construtivos utilizados nessa instalação estão conseguindo minimizar os efeitos climáticos adversos para os animais que eventualmente possam ser confinados.

De acordo com as recomendações de Cândido et al. (2016), Cassuce (2011) e Medeiros et al. (2005) a zona de conforto térmico (ZCT) para frangos de corte, no que tange a temperatura do ar, deve variar de 32 a 34 °C na primeira semana de vida do animal; 28 a 32 °C na segunda; 26 a 28 °C na terceira; 24 a 26 °C na quarta; e 18 a 24 °C na quinta e sexta semanas de vida dos animais. Ao analisar a Figura 1 é possível inferir que durante o inverno, a instalação apresentou valores que indicam a promoção do conforto térmico durante o primeiro, segundo e quarto turno do dia, para terceira, quarta, quinta e sexta semanas de vida do animal, sendo que neste período, para estas fases, o terceiro turno apresentou valores de temperatura do ar acima dos limites considerados confortáveis pelos autores citados anteriormente.

Ainda para o inverno, todos os turnos apresentaram valores abaixo da zona de conforto térmico para frangos de corte nas duas primeiras semanas de vida, indicando que a instalação, durante este período e para os animais destas fases, está proporcionando um ambiente de desconforto por frio. Nessas condições é importante a utilização de sistemas de aquecimento, círculos de proteção, bem como a utilização de cortinas nas janelas com o intuito de promover o isolamento térmico da instalação, diminuir a influência do

microclima externo no interior do aviário e conseqüentemente deixar a instalação aquecida.

Estresse por frio no estágio inicial de criação também foi observado por Vigoderis et al. (2010), Menegali et al. (2013), Paula et al. (2014) e Coelho et al. (2019) que avaliaram o ambiente térmico de aviários durante a fase de aquecimento no período de inverno. Como descrito por esses autores, a temperatura do ar não atingiu as condições adequadas para as aves.

Segundo Ponciano et al. (2012), devido ao fato dos frangos de corte não possuírem um sistema termorregulador definido ou reservas de energias suficientes para se adaptarem às condições ambientais adversas, nos primeiros dias após o nascimento, a temperatura corporal pode mudar em função da temperatura ambiente, sendo assim, é de extrema importância oferecer aos animais um ambiente termicamente confortável.

No verão, para as duas primeiras semanas de vida de frangos de corte, somente o turno 3 apresentou um valor médio de temperatura do ar que se enquadra dentro da ZCT recomendada por Cândido et al. (2016), Cassuce (2011) e Medeiros et al. (2005). Para a terceira semana, apenas no turno 4, a instalação apresentou valores dentro da ZCT para estes animais onde, para as demais semanas de vida, o galpão apresentou valores de temperatura do ar acima dos limites considerados confortáveis, podendo ocasionar estresse térmico por calor às aves, durante esta fase, que possam vir a ser confinados nesta instalação.

Em condições estressantes, os animais costumam acionar mecanismos comportamentais e fisiológicos para manter sua homeotermia, onde os resultados obtidos por Schiassi et al. (2015) e Cassuce (2011) ao avaliar os aspectos comportamentais de frangos de corte, mostram maior presença das aves no bebedouro, em ambientes com temperatura do ar de 36 e 39 °C, para a primeira semana de vida e 33 e 36 °C, para a segunda semana de vida, indicando que possivelmente estes animais estivessem em condições de estresse térmico por calor.

Han et al. (2010), ao submeterem frangos de corte de quatro semanas de idade a temperatura elevada (35°C) de forma cíclica (3 horas/dia), observaram sinais visíveis de estresse por calor nos animais. Os autores relatam mudanças comportamentais como aumento significativo da taxa respiratória (animais ofegantes) e uma distribuição dispersa no interior das gaiolas com a permanência das aves próximas aos bebedouros com água potável. Em trabalho similar, Tan et al. (2010), após exposição aguda de frangos de corte a diferentes condições de temperatura, puderam observar, dentre outros parâmetros,

mudanças comportamentais significativas como asas abertas, ofegação, penas eriçadas, aumento no consumo de água, depressão e fezes aquosas.

Os resultados obtidos pelos autores citados anteriormente mostram a importância de tentar promover condições de conforto térmico para os animais durante todas as fases de criação. Desta forma, percebe-se que para proporcionar conforto térmico durante todos os turnos e estações do ano, é necessário também investir em sistemas de aquecimento/resfriamento, utilização forros e cortinas, bem como adequar o manejo para cada situação específica.

A análise de variância dos dados relacionados à umidade relativa do ar (UR) para os diferentes turnos estudados, na área interna e externa do aviário, está apresentada na Tabela 6. É possível observar que, apenas nos turnos 3 e 4, dos dados coletados na área externa do aviário, não houve diferença significativa entre os tratamentos, a partir da análise de variância (ANOVA) e teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da umidade relativa do ar (UR) para os diferentes turnos e áreas de coleta.

Turno	Área de coleta	FV ¹	GL ²	CV ³ (%)	QM ⁴	Fc ⁵	Pr ⁶ >Fc
1	Interior do galpão	Tratamento	1	7,62	285,7110	7,664	0,0076
2	Interior do galpão	Tratamento	1	7,97	504,0201	15,053	0,0003
3	Interior do galpão	Tratamento	1	18,53	833,2826	8,845	0,0043
4	Interior do galpão	Tratamento	1	14,77	537,619	5,691	0,0203
1	Exterior do galpão	Tratamento	1	9,10	235,6201	4,161	0,0459
2	Exterior do galpão	Tratamento	1	14,17	147,0474	1,618	0,2085 ^{ns}
3	Exterior do galpão	Tratamento	1	19,23	4,4936	0,054	0,8173 ^{ns}
4	Exterior do galpão	Tratamento	1	16,56	1338,6871	10,757	0,0018

¹ Fonte de variação; ² Graus de liberdade; ³ Coeficiente de variação; ⁴ Quadrado médio; ⁵ estatística F; ⁶ valor-p; ^{ns} não significativo.

Os resultados médios da variável umidade relativa (UR), coletados na parte interna (INT) e externa (EXT) do aviário, para os diferentes tratamentos, inverno e verão, e turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, estão apresentados na Figura 6.

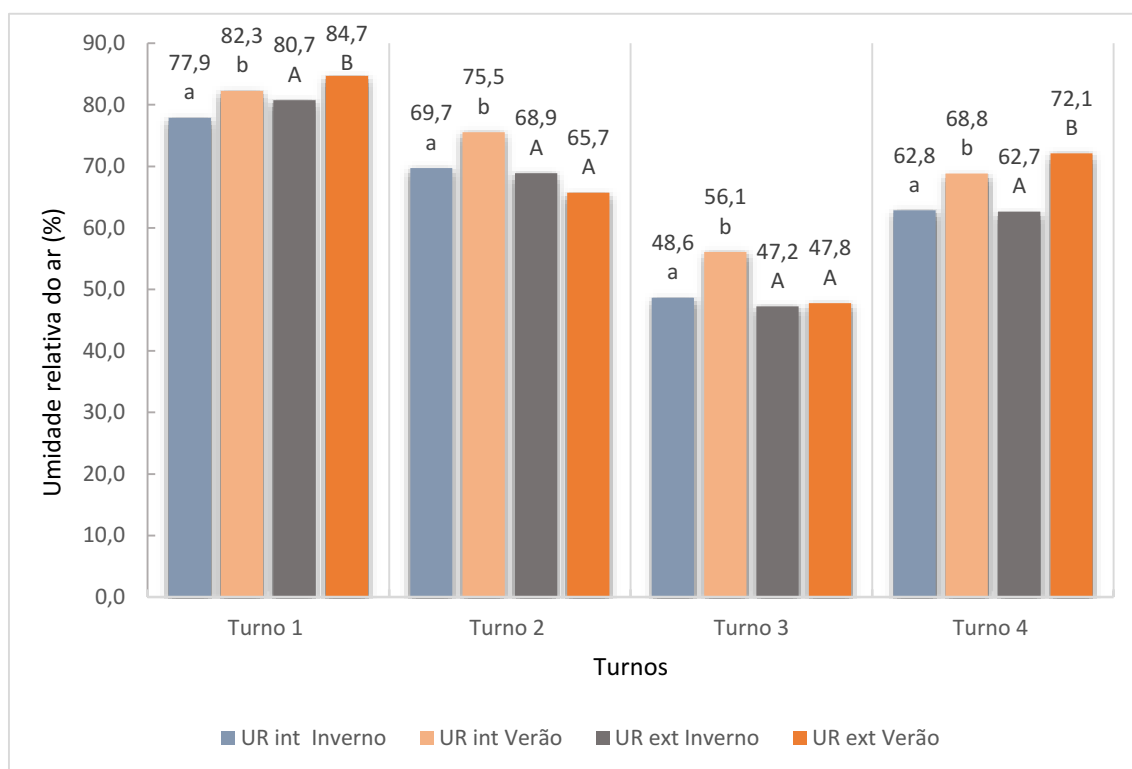


Figura 6. Umidade relativa do ar média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.

A análise estatística indicou que houve diferença significativa para os diferentes tratamentos ($P < 0,05$) no que se refere aos dados de umidade relativa (UR) em todos os turnos para o interior do aviário. Quanto aos dados coletados no exterior do galpão, somente as médias nos turnos 1 e 4 apresentaram divergência ($P < 0,05$), o que não foi possível constatar nos turnos 2 e 3 ($P > 0,05$).

Na Figura 6 observa-se que o comportamento da UR no interior e exterior do galpão foi similar para os dois tratamentos e turnos, onde os valores máximos foram registrados no turno 1 e mínimos no turno 3. Percebe-se também que, durante o verão, nos turnos 2 e 3, que representam os horários mais quentes do dia, a umidade relativa no interior do aviário manteve-se maior que na área externa. Este resultado indica que a instalação, provavelmente por suas características construtivas, principalmente pelo fato

de ser dotada de cobertura com telhas cerâmicas e piso cimentado, pela menor incidência direta de radiação solar no interior do galpão e pela baixa ventilação natural, conseguiu manter esse ambiente mais úmido durante este turno.

No interior do aviário, os valores médios de umidade relativa variaram entre 48,6 e 77,9 % no inverno e 56,1 e 82,3% no verão. Já na área externa, a variação foi de 47,2 a 80,7% no inverno e 47,8 a 84,7% no verão.

O tratamento verão apresentou as maiores médias, ao comparar com o inverno, em todos os turnos no interior do aviário, e na área externa, para os turnos que apresentaram médias distintas, devido ao fato de que no presente ano essa estação caracterizou-se por apresentar um alto índice pluviométrico na cidade de Petrolina-PE e região.

Nota-se que ao longo do dia a variação da umidade relativa no interior e exterior do galpão ocorreu de forma similar, em ambos tratamentos, devido ao fato da instalação possuir janelas teladas, sem a presença de cortinas, condicionando uma maior influência do ambiente externo no interior do aviário.

Em ambos tratamentos, os valores mais críticos foram encontrados durante o turno 3. Neste turno foram apresentados valores de umidade que podem ocasionar ambiente inadequado à criação animal, principalmente para frangos de corte a partir da quarta semana de vida, especialmente se associados a altas temperaturas do ar, situação encontrada nesta pesquisa, como pode ser visto por meio da Figura 5. Ambientes com baixos valores de umidade relativa do ar associados a altos valores de temperatura podem promover estresse térmico aos animais.

Segundo Abreu e Abreu (2011), a umidade relativa considerada ideal para o confinamento de frangos de corte deve variar de 60 a 70%. Percebe-se então que o aviário estudado apresentou valores de umidade relativa dentro da faixa recomendada no tratamento inverno durante o turno 2, e em ambos tratamentos no turno 4. No turno 1, nas duas estações analisadas, e turno 2, no verão, a UR esteve acima do ideal para frangos de corte; já o turno 3, no inverno e verão, expressou valores de UR inferiores à recomendação de Abreu e Abreu (2011).

Elevados valores de UR associados à condições de baixa TA, situação visível durante o turno 1 nos dois tratamentos e turno 2 no verão, podem ser extremamente prejudiciais ao confinamento de frangos de corte nas primeiras semanas de vida, sendo que de acordo com Cândido et al. (2016), o período de 1 a 21 dias de vida dos frangos as aves são mais vulneráveis a problemas relacionados ao frio. Desta maneira é

imprescindível o manejo correto dos animais e a adoção de ferramentas e equipamentos que minimizem a interferência do microclima externo no interior da instalação, como a adoção de cortinas e sistema de aquecimento.

Estudos realizados por Oliveira et al. (2006) evidenciam os efeitos negativos da alta umidade sobre o consumo de ração em pintainhos de 1 a 21 dias de idade, pois com o aumento da umidade relativa do ar, o processo evaporativo de perda de calor é menos eficiente, levando a uma dificuldade para dissipação de calor pelas aves, as quais ficam mais dispersas e agitadas, prejudicando seu desempenho com base na pior conversão alimentar.

Em situações de elevada umidade, principalmente quando a temperatura está acima da zona de termoneutralidade dos animais, comportamento observado durante a estação verão, no turno 2 dentro do galpão, pode ocorrer maiores níveis de estresse para frangos de corte a partir da quarta semana de vida, pois a umidade relativa apresenta relação inversamente proporcional à dissipação de calor por evaporação, sendo esta a forma mais eficiente da ave perder calor.

Destaca-se que estes resultados foram encontrados dentro de um aviário sem ocupação, havendo a possibilidade desta situação de desconforto piorar quando houver animais confinados, sendo que de acordo com Baeta e Souza (2010) a presença de animais dentro das instalações favorece o acréscimo da umidade relativa do ar no ambiente, pois os animais que estão aglomerados produzem calor e vapor d'água.

Para minimizar estes possíveis efeitos adversos causados pelos altos valores de umidade relativa, quando a instalação estiver sendo ocupada pelos animais, é importante utilizar sistemas de ventilação artificial, para tentar reduzir a temperatura e dissipar o vapor d'água presente no ambiente, favorecendo também as trocas térmicas entre o animal e o meio.

É importante salientar que níveis de umidade relativa do ar abaixo da zona de conforto juntamente com altos valores de temperatura do ar, situação apresentada principalmente durante o turno 3, também não são ideais para a criação de frangos de corte, pois estas condições levam à secura do trato respiratório e possivelmente desidratação em aves (Cordeiro et al., 2010).

Esta condição foi verificada no turno 3, situação que causa desconforto térmico nas aves principalmente nas fases mais avançadas de criação, pois se o ambiente é quente e muito seco, segundo Starling et al. (2002), as trocas de calor de forma sensível são ineficientes enquanto as trocas de forma latente são prejudicadas, pois quanto mais seco

o ar, mais rápida é a evaporação respiratória, podendo causar irritação cutânea e desidratação geral. Os resultados deste trabalho mostram que nesse momento crítico, de temperatura do ar elevada e umidade relativa baixa, durante o turno 3 tanto no inverno quanto no verão, quando o aviário for ocupado, é necessária a adoção de sistemas de ventilação e/ou sistemas de resfriamento do ar, o que permitirá a promoção de condições mais eficientes em termos de conforto térmico, próximas à zona termoneutra da ave. Para isto é necessário fazer o dimensionamento desse sistema levando em consideração as características físicas e térmicas do aviário, bem como do lote de animais que será confinado.

A Tabela 7 apresenta a análise de variância da velocidade do vento (V.v.) para os diferentes turnos estudados, na área interna e externa do aviário. Observa-se que, para todos os turnos e áreas estudadas, houve diferença significativa entre os tratamentos, a partir da análise de variância (ANOVA) e teste F, a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

Tabela 7. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da velocidade do vento (V.v.) para os diferentes turnos e áreas de coleta.

Turno	Área de coleta	FV ¹	GL ²	CV ³ (%)	QM ⁴	Fc ⁵	Pr ⁶ >Fc
1	Interior do galpão	Tratamento	1	99,11	0,665707	22,733	0,0000
2	Interior do galpão	Tratamento	1	44,03	0,388815	13,708	0,0005
3	Interior do galpão	Tratamento	1	47,46	0,416667	8,949	0,0041
4	Interior do galpão	Tratamento	1	97,29	1,050727	27,115	0,0000
1	Exterior do galpão	Tratamento	1	43,38	3,456000	38,947	0,0000
2	Exterior do galpão	Tratamento	1	20,55	1,209840	16,979	0,0001
3	Exterior do galpão	Tratamento	1	18,19	6,733500	106,541	0,0000
4	Exterior do galpão	Tratamento	1	41,49	7,169127	98,392	0,0000

¹ Fonte de variação; ² Graus de liberdade; ³ Coeficiente de variação; ⁴ Quadrado médio; ⁵ estatística F; ⁶ valor-p.

Os resultados médios da variável velocidade do vento (V.v.), coletados na parte interna (INT) e externa (EXT) do aviário, para os diferentes tratamentos, inverno e verão, e turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, estão apresentados na Figura 3.

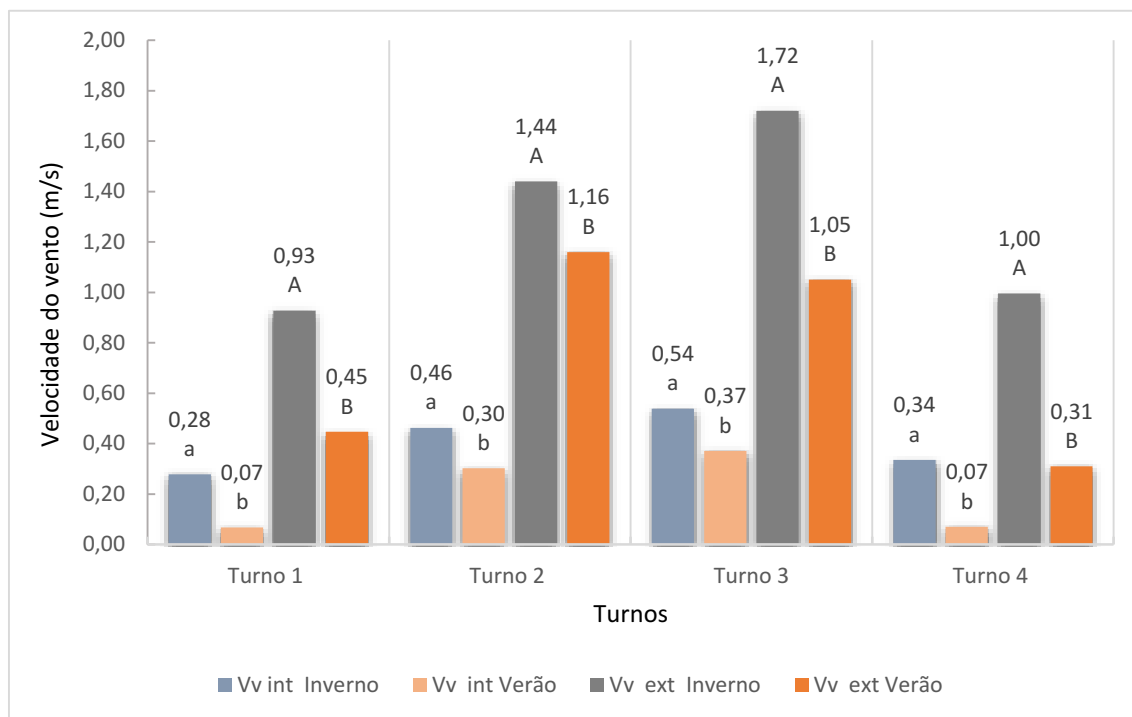


Figura 7. Velocidade do vento média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.

A análise estatística indicou que houve diferença significativa para os tratamentos estudados, inverno e verão, ($P < 0,05$) no que se refere aos dados de velocidade do vento (V.v.), em todos os turnos, tanto nos dados coletados no interior do aviário quanto no exterior, sendo que o teste de Tukey mostrou que as menores médias foram encontradas no tratamento verão e as maiores no tratamento inverno.

Na Figura 7 percebe-se que nas duas estações a ventilação foi prejudicada, onde os maiores valores observados foram de $0,54 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, no interior da instalação e $1,72 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ na área externa, na estação de inverno durante o turno 3, sendo que estes valores apresentados encontram-se abaixo dos recomendados por Menegali (2009), onde recomenda que a velocidade do vento deve variar entre $2,29$ e $2,41 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para aves adultas.

Estes dados indicam que a ventilação natural no interior deste aviário não é o suficiente para contribuir com a promoção do conforto térmico das aves no que diz

respeito ao controle da temperatura, que tem por objetivo aumentar as trocas térmicas por convecção, eliminar o excesso de umidade do ambiente e da cama, proveniente da água liberada pela respiração das aves e através dos dejetos, e permitir a renovação do ar regulando o nível de oxigênio necessário às aves, eliminando gás carbônico e gases de fermentação, como recomenda Abreu & Abreu (2000).

Apesar da instalação apresentar lanternim e aberturas nas janelas, com a presença de telas, características construtivas recomendadas para aviários situados em locais de clima quente, a mureta desta instalação possui 0,65 m, valor elevado, que dificultou a entrada de ar no interior da instalação, o que prejudica a ventilação no nível das aves, quando a instalação estiver sendo ocupada. De acordo com as recomendações dadas por Tinôco (1998), a mureta deve ter a menor altura possível, aproximadamente 0,2 m, permitindo a entrada do ar no nível das aves, evitando a entrada de água de chuva e que a cama seja arremessada para fora do aviário.

A ventilação externa, tanto no inverno quanto no verão, também esteve abaixo dos valores recomendados por Menegali (2009). Isto provavelmente ocorreu devido a presença de plantas de porte alto e vegetação na fachada sul do aviário, o que funcionou como barreira de ventilação, minimizando o fluxo de ar neste local. Desta forma, evidencia-se a necessidade de utilização de ventilação mecânica para maximizar as condições de conforto térmico no interior do galpão, quando este estiver ocupado, principalmente para animais a partir da terceira semana de vida.

Tinôco (2001), diz que a ventilação natural pode e deve ser amplamente aproveitada nos climas quentes. Isso pode ser conseguido através, dentre outras coisas, de aspectos construtivos importantes como: dimensões, desenho e localização das aberturas de entrada e de saída. Muitas vezes, torna-se adequado prover barreiras naturais ou artificiais, com finalidade de canalizar o fluxo do vento para determinados pontos das construções, visando aumento ou redução de sua velocidade, conforme o caso.

A Tabela 8 apresenta a análise de variância dos dados relacionados ao índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) para os diferentes turnos estudados, na área interna e externa do aviário. Na Tabela 7, observa-se que, para todos os turnos e áreas estudadas, houve diferença significativa entre os tratamentos, a partir da análise de variância (ANOVA) e teste F, a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

Tabela 8. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média do índice de temperatura e umidade (ITGU) para os diferentes turnos e áreas de coleta.

Turno	Área de coleta	FV ¹	GL ²	CV ³ (%)	QM ⁴	Fc ⁵	Pr ⁶ >Fc
1	Interior do galpão	Tratamento	1	2,13	365,85642	158,653	0,0000
2	Interior do galpão	Tratamento	1	1,96	351,33560	165,816	0,0000
3	Interior do galpão	Tratamento	1	2,89	272,04362	52,731	0,0000
4	Interior do galpão	Tratamento	1	2,23	321,64610	117,634	0,0000
1	Exterior do galpão	Tratamento	1	2,65	225.38940	65,848	0,0000
2	Exterior do galpão	Tratamento	1	4,08	1119,0529	104,671	0,0000
3	Exterior do galpão	Tratamento	1	4,21	1176,2539	88,654	0,0000
4	Exterior do galpão	Tratamento	1	3,30	96,57090	16,725	0,0001

¹ Fonte de variação; ² Graus de liberdade; ³ Coeficiente de variação; ⁴ Quadrado médio; ⁵ estatística F; ⁶ valor-p.

Os resultados médios do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) coletados na parte interna (INT) e externa (EXT) do galpão aviário, para os diferentes tratamentos, inverno e verão, nos diferentes horários observados, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, podem ser vistos na Figura 8.

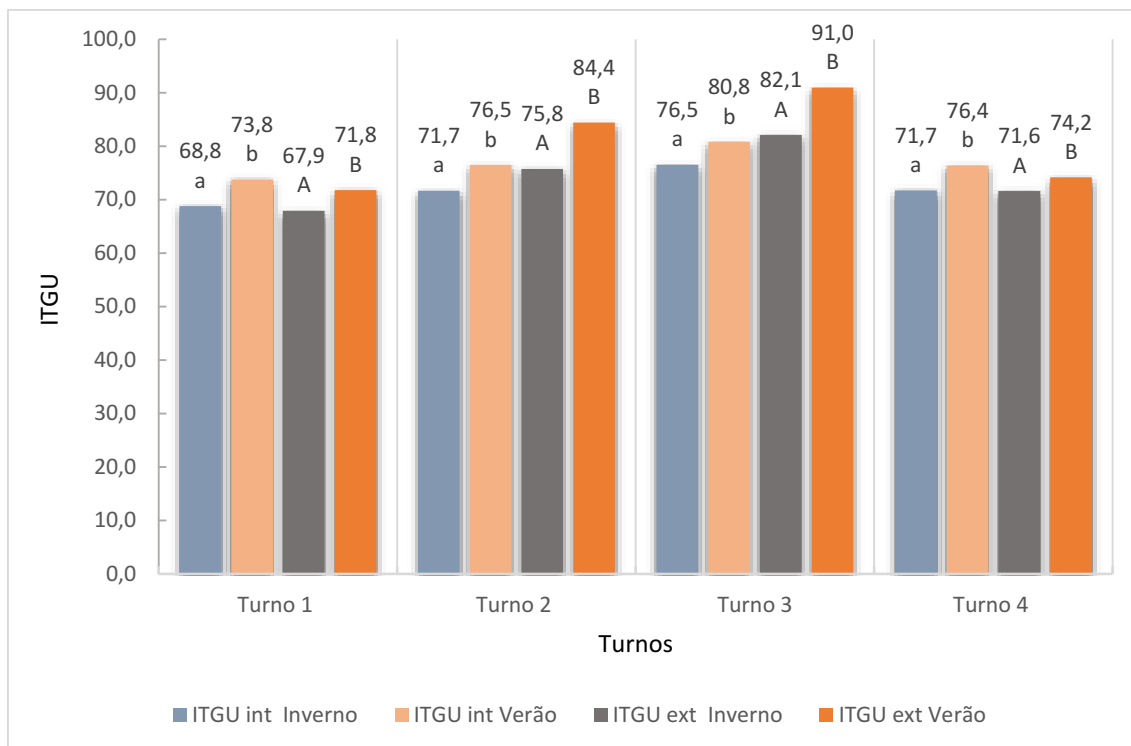


Figura 8. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) médio no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.

Por meio da análise estatística foi possível perceber que houve diferença significativa para os tratamentos estudados, inverno e verão, ($P < 0,05$) no que se refere aos dados relacionados ao índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), em todos os turnos, tanto nos dados coletados no interior do aviário quanto no exterior, sendo que o teste de Tukey mostrou que as menores médias foram encontradas no tratamento inverno e as maiores no tratamento verão.

Ao analisar a Figura 8 é possível notar que tanto na área interna quanto externa do aviário, os menores valores de ITGU foram observados durante o turno 1 e os maiores durante o turno 3, para os dois períodos experimentais. No inverno, o ITGU no interior da instalação variou de 68,8 a 76,5; e no verão esta variação foi de 73,8 a 80,8. Já na parte externa do galpão, durante o inverno, os valores de ITGU variaram de 67,9 a 82,1; e no verão de 71,8 a 91,0.

É possível perceber também que durante o verão, nos turnos 1 e 4, o ITGU na área interna da instalação foi superior aos resultados obtidos na área externa. Este comportamento também foi observado ao avaliar a temperatura do ar, e provavelmente

está relacionado com a capacidade da instalação de manter as suas condições térmicas por mais tempo, ocasionando menores variações ao longo dos turnos, em comparação ao que ocorre na área externa. As características físicas e térmicas dos materiais construtivos estão diretamente relacionadas à estes resultados, pois estes apresentam grande capacidade de acumular calor e maior atraso térmico, reduzindo assim as variações térmicas no interior da instalação, o que contribui para um aumento na sua promoção de conforto térmico.

Quanto à zona de conforto térmico de frangos de corte, Cândido et al. (2016), analisando o desempenho zootécnico de animais criados de 1 a 21 dias em câmaras climáticas, sugerem de acordo com os resultados de sua pesquisa, que as faixas de ITGU de conforto térmico são entre 75,8 a 79,7 para a primeira semana, 71,9 a 74,4 na segunda semana e a partir da terceira semana entre 68,7 e 71,7.

Tomando estes valores como referência e analisando os resultados exibidos na Figura 8, pode-se inferir que para frangos de corte na primeira semana de vida, durante o inverno, no interior do aviário apenas o turno 3 apresentou valores de ITGU que sugerem situação de conforto térmico, sendo que nos demais turnos, o ITGU esteve abaixo da faixa recomendada para estes animais e no verão, os turnos 2 e 4 apresentaram condições de conforto, o turno 1 estresse por frio e o turno 3 estresse por calor.

Considerando ainda a faixa de conforto recomendada por Cândido et al. (2016) para frangos de corte na segunda semana, durante o inverno, o galpão apresentou valores de ITGU dentro da zona de conforto para estes animais nos turnos 2 e 4, onde o turno 1 apresentou situação de estresse por frio e o turno 3 estresse por calor. Durante o verão apenas no turno 1 foi considerado confortável, sendo que os demais turnos indicam condições de possível estresse por calor.

Para frangos de corte a partir de 3 semanas de vida, Cândido et al. (2016) indicam que um ambiente de criação confortável deve apresentar valores de ITGU entre 68,7 e 71,7 e, ao observar a Figura 4, nota-se que dentro do aviário, no inverno, os turnos 1, 2 e 4 apresentaram valores de ITGU dentro desta faixa, diferentemente do turno 3, que apresentou valores acima da faixa recomendada. No verão todos os turnos foram considerados estressantes por calor para os animais desta faixa etária.

Furtado et al. (2011) também observaram resultados semelhantes em experimentos com galinhas de postura na região semiárida nordestina, que citam valores de ITGU crescentes até às 14 h e decrescente a partir deste horário, sendo que nos horários

mais críticos do dia (entre 12 e 14 h), ocorreu situação de desconforto por calor para as aves.

Percebe-se que, assim como ocorreu com as demais variáveis e índices analisados anteriormente, os valores de ITGU da instalação também não foram favoráveis para todas as fases de criação de frangos de corte, nas duas estações e quatro turnos estudados, entretanto, apesar deste resultado, ao comparar os dados obtidos na área interna do aviário com os resultados da área externa, pode ser visto que, principalmente no verão, o aviário conseguiu minimizar significativamente as condições microclimáticas adversas visualizadas na área externa, onde no turno 3, horários que apresentaram maiores condições de desconforto calórico, a variação do ITGU da área externa e interna foi de 5,6 e 10,2 no inverno e verão, respectivamente.

Carvalho et al. (2014), ao avaliarem as condições de conforto térmico animal em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro, notaram que tanto no inverno como no verão, os animais estão expostos a condições de estresse térmico por calor, sendo a época de inverno a mais adequada para a realização das atividades de manejo.

Para Medeiros et al. (2005) em condições de estresse por calor as aves ficam agitadas e se dispersam para aumentar a dissipação corporal para o ambiente. Com o passar do tempo, param de movimentar-se, ficam ofegantes, prostradas e têm a frequência cardíaca aumentada. Neste caso, como citado anteriormente, o uso de equipamentos de ventilação associado ao manejo de cortinas de forma constantes, é um interessante recurso de alívio ao estresse térmico (Nääs et al., 2005).

A Tabela 9 apresenta a análise de variância dos dados relacionados à carga térmica radiante (CTR) para os diferentes turnos estudados, na área interna e externa do aviário. Na Tabela 4, observa-se que, para todos os turnos e áreas estudadas, houve diferença significativa entre os tratamentos, a partir da análise de variância (ANOVA) e teste F, a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

Tabela 9. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da carga térmica radiante (CTR) para os diferentes turnos e áreas de coleta.

Turno	Área de coleta	FV ¹	GL ²	CV ³ (%)	QM ⁴	Fc ⁵	Pr ⁶ >Fc
1	Interior do galpão	Tratamento	1	2,36	8866,5864	84,986	0,0000
2	Interior do galpão	Tratamento	1	2,57	10230,159	76,096	0,0000
3	Interior do galpão	Tratamento	1	4,05	6785,3427	17,801	0,0001
4	Interior do galpão	Tratamento	1	12,33	19802,030	6,605	0,0128
1	Exterior do galpão	Tratamento	1	2,68	7306,0528	57,274	0,0000
2	Exterior do galpão	Tratamento	1	11,80	42073,012	8,719	0,0045
3	Exterior do galpão	Tratamento	1	10,43	70946,570	16,127	0,0002
4	Exterior do galpão	Tratamento	1	6,62	4071,7138	4,798	0,0325

¹ Fonte de variação; ² Graus de liberdade; ³ Coeficiente de variação; ⁴ Quadrado médio; ⁵ estatística F; ⁶ valor-p.

Por meio da Figura 9 é possível visualizar os resultados médios da carga térmica radiante (CTR) coletados na parte interna (INT) e externa (EXT) do galpão aviário, para os diferentes tratamentos, inverno e verão, nos diferentes horários observados, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00.

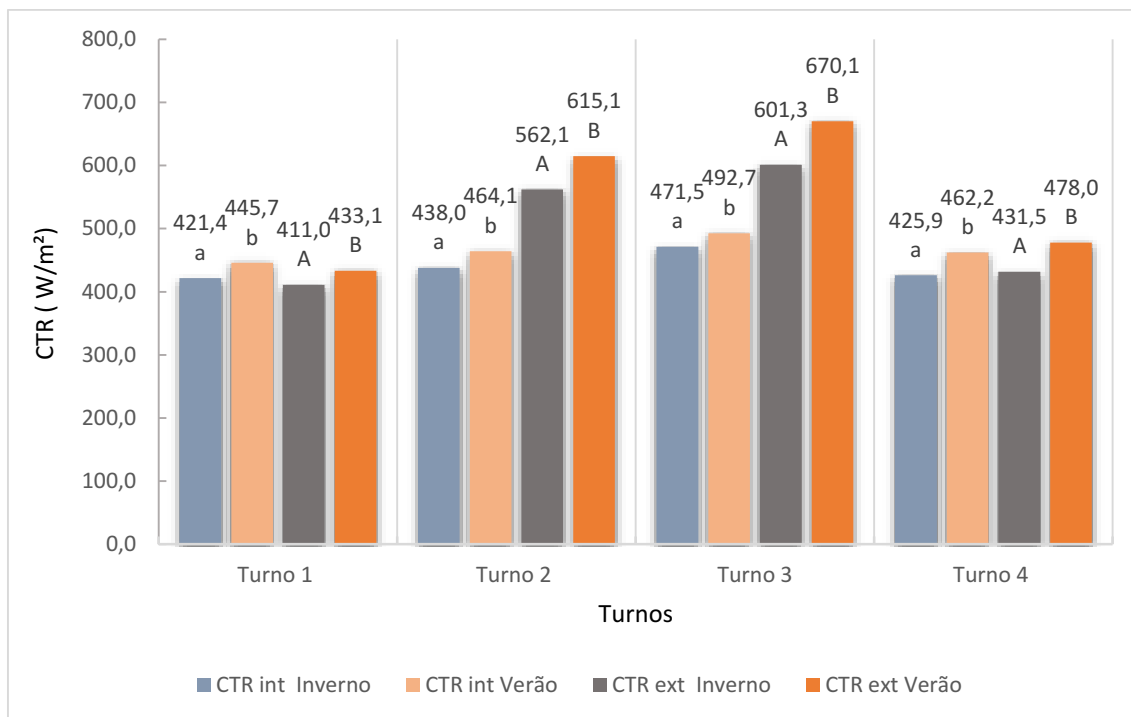


Figura 9. Carga térmica radiante (CTR) média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.

A análise estatística constatou que em todos os turnos, tanto nos dados coletados no interior do aviário quanto no exterior, houve diferença significativa para os tratamentos inverno e verão, ($P < 0,05$) no que se refere aos dados relacionados à carga térmica radiante (CTR), sendo que o teste de Tukey mostrou que, em todos os turnos, as menores médias foram encontradas no tratamento inverno e as maiores no tratamento verão.

A Figura 9 evidencia, ao comparar os dados coletados no interior e exterior do aviário, como a cobertura é importante na promoção do conforto térmico aos animais, sendo eficiente em diminuir a carga térmica radiante sobre os mesmos. O aviário estudado é dotado de telhas cerâmicas, onde de acordo com Jacome et. al (2007), as telhas cerâmicas são as mais indicadas, visto que ao estudarem a influência do material de cobertura nos índices de conforto térmico para galinhas poedeiras perceberam que o galpão com cobertura de telhas cerâmicas, apresentou nos horários mais quentes do dia, menor carga térmica e melhor conforto térmico para poedeiras, em comparação com o galpão com cobertura de telha de fibrocimento.

No interior do aviário, nos dois tratamentos, o turno 1 apresentou os menores valores da CTR, variando de 421,4 $W \cdot m^{-2}$ no inverno a 445,7 $W \cdot m^{-2}$ no verão, e os maiores foram observados no turno 3, onde no inverno a CTR foi 471,5 $W \cdot m^{-2}$ e no verão este

índice foi $492,7 \text{ W.m}^{-2}$. De acordo com Baêta e Souza (2010), a carga térmica de radiação sugerida como adequada para frangos de corte é de 450 W.m^{-2} . Utilizando este dado como referência, nota-se que tanto no inverno quanto no verão, a instalação promoveu condições de conforto e desconforto aos animais, a depender do turno analisado, sendo que, nas duas estações, o turno 3 foi o que apresentou as condições mais estressantes por calor.

Resultados semelhantes foram observados por Furtado et al. (2011) ao verificarem que a CTR foi mais elevada entre as 12 e 16 h, causando situação de desconforto térmico para os animais e influenciando no desempenho das aves.

Assim como foi observado nos resultados referentes ao ITGU, ao avaliar os resultados da CTR dos turnos 2 e 3, horários com maiores índices de radiação e por conseguinte, horários mais quentes do dia, a diferença entre a CTR encontrada no interior e exterior do galpão foi significativa, ao comparar com os outros turnos, sendo que no inverno esta variação foi de $124,1 \text{ W.m}^{-2}$ (turno 2) e $129,8 \text{ W.m}^{-2}$ (turno 3), e no verão $151,0 \text{ W.m}^{-2}$ (turno 2) e $177,4 \text{ W.m}^{-2}$ (turno 3). Ou seja, apesar da instalação não estar fornecendo as condições de CTR consideradas ideais para o conforto térmico de frangos de corte nos turnos 2 e 3, a mesma se mostra eficiente em reduzir os níveis de carga térmica no seu interior, proporcionando um ambiente menos estressante que a área externa do aviário. Este resultado positivo provavelmente está relacionado às características construtivas da instalação, como a sua orientação leste/oeste, pé direito de 2,5 m, presença de lanternim, bem como às características térmicas dos materiais construtivos da instalação, principalmente do material de cobertura, que no caso desta instalação é composta por telhas cerâmicas que segundo Michels et al (2008), o bom desempenho destas telhas está relacionado à sua capacidade de absorver água e assim parte da radiação incidente durante o dia é gasta no processo de evaporação da água absorvida.

A utilização deste índice de conforto também pode ser verificada em outros trabalhos científicos tais como Silva et al. (2015) avaliando o uso de diferentes materiais de cobertura, em modelos reduzidos de galpões avícolas, com a utilização de materiais de cobertura diferentes (telha cerâmica, telha alumínio e telha de fibra vegetal asfáltica reciclada), os autores observaram que a telha cerâmica proporcionou melhores condições de conforto térmico com valores médios de ITGU de 75,65 e CTR de $453,09 \text{ W.m}^{-2}$, mostrando que o estudo e conhecimento das propriedades térmicas dos materiais são indispensáveis pra o aprimoramento do conforto térmico dos galpões.

De acordo com Cabral et al. (2017), quanto maior o valor de CTR, mais desfavoráveis são as condições ambientais para criação de animais, sendo na presente pesquisa os turnos 2 e 3 os mais críticos. Para as condições climáticas de semiárido, onde a intensidade de radiação é alta todo ano, mesmo no inverno é comum verificar desconforto das aves devido ao calor, um dos motivos é a grande incidência de radiação solar direta no telhado que transfere esta radiação para interior do aviário. De acordo com Cezar (2012), essa radiação representa 75% da carga térmica sobre a cobertura que é transferida para o interior de um galpão.

A Tabela 10 apresenta análise de variância dos dados relacionados à Entalpia para os diferentes turnos estudados, na área interna e externa do aviário. Na Tabela 4, observa-se que, para todos os turnos e áreas estudadas, houve diferença significativa entre os tratamentos, a partir da análise de variância (ANOVA) e teste F, a 5% de probabilidade ($P < 0,05$).

Tabela 10. Análise de variância referentes aos efeitos dos tratamentos, estações do ano – inverno e verão; com relação à média da Entalpia para os diferentes turnos e áreas de coleta.

Turno	Área de coleta	FV ¹	GL ²	CV ³ (%)	QM ⁴	Fc ⁵	Pr ⁶ >Fc
1	Interior do galpão	Tratamento	1	5,10	1305,1737	175,574	0,0000
2	Interior do galpão	Tratamento	1	4,66	1303,6817	187,350	0,0000
3	Interior do galpão	Tratamento	1	5,16	1263,3517	136,385	0,0000
4	Interior do galpão	Tratamento	1	4,56	1230,5293	193,690	0,0128
1	Exterior do galpão	Tratamento	1	6,35	748,57208	69,307	0,0000
2	Exterior do galpão	Tratamento	1	8,33	2457,3440	116,259	0,0000
3	Exterior do galpão	Tratamento	1	8,39	1666,9010	64,813	0,0000
4	Exterior do galpão	Tratamento	1	6,34	513,04504	43,678	0,0000

¹ Fonte de variação; ² Graus de liberdade; ³ Coeficiente de variação; ⁴ Quadrado médio; ⁵ estatística F; ⁶ valor-p.

Na Figura 10 é possível visualizar os resultados médios da Entalpia coletados na parte interna (INT) e externa (EXT) do galpão aviário, para os diferentes tratamentos, inverno e verão, nos diferentes horários observados, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00.

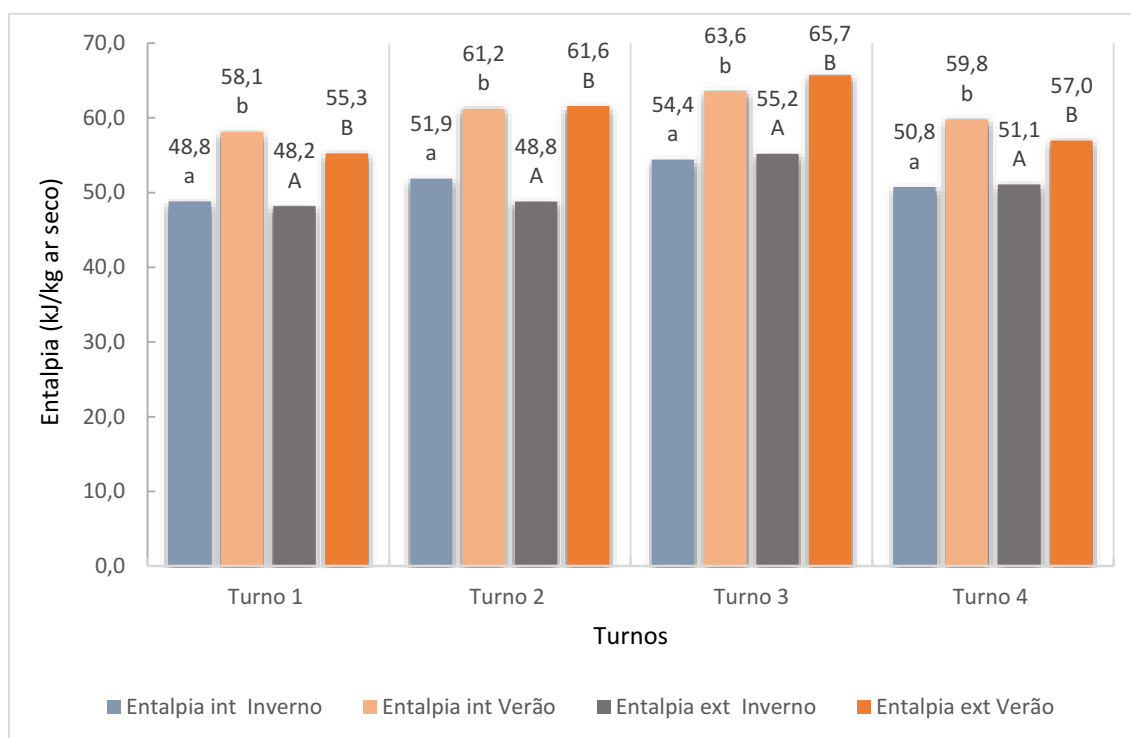


Figura 10. Entalpia média no interior e exterior do aviário, nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo dos períodos experimentais inverno e verão.

A análise estatística constatou que em todos os turnos, tanto nos dados coletados no interior do aviário quanto no exterior, houve diferença significativa para os tratamentos inverno e verão, ($P < 0,05$) no que se refere aos dados relacionados à Entalpia, sendo que o teste de Tukey mostrou que, em todos os turnos, as menores médias foram encontradas no tratamento inverno e as maiores no tratamento verão.

Ao observar a Figura 10 é possível perceber que nos dois tratamentos, o turno 1 foi aquele em que os valores de entalpia foram os menores, ao longo do dia, e o turno 3, apresentou os valores mais altos. No inverno, dentro da instalação, a entalpia variou de 48,8 a 54,4 $\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$, e no verão esta variação foi de 58,1 a 63,6 $\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$. Já na área externa, para esta mesma grandeza física, ocorreu uma variação de 48,2 a 55,2 $\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$, durante o inverno, e de 55,3 a 65,7 $\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$, no verão. Esta

variação da entalpia ao longo do dia e das estações pode ser atribuída à quantidade de radiação recebida pela instalação, sendo maior no período diurno, e durante o verão.

É importante destacar que a entalpia é resultado da combinação das condições de temperatura e umidade relativa do ar, sendo considerada a melhor forma de avaliar o nível de conforto térmico dos animais (SILVA et al., 2010).

De acordo com Barbosa et al. (2007), a faixa considerada confortável da grandeza física entalpia para frangos de corte na primeira semana é de 77,0 a 88,3 kJ.kg ar seco⁻¹; de 66,9 a 77 kJ.kg ar seco⁻¹ na segunda semana, de 57,7 a 66,9 kJ.kg ar seco⁻¹ na terceira semana; de 49,5 a 57,7 kJ.kg ar seco⁻¹ na quarta semana; de 39,6 a 54,9 kJ.kg ar seco⁻¹ na quinta semana; e de 37,4 a 52,1 kJ.kg ar seco⁻¹ na sexta semana de vida do animal.

Seguindo estes dados como referência e analisando a Figura 10, nota-se que o interior da instalação, tanto no inverno quanto no verão, apresentou valores de entalpia abaixo da faixa recomendada para frangos de corte nas duas primeiras semanas de vida (corroborando com os resultados obtidos neste estudo para as variáveis temperatura do are ITGU), em todos os turnos, indicando possível condição de estresse por frio. Em situações como esta é recomendável utilizar aquecedores e o fechamento de cortinas para tentar manter ao máximo a quantidade de energia presente na instalação e conseqüentemente ofertada aos animais. Para a terceira semana de criação, este mesmo comportamento pôde ser observado durante o tratamento inverno, diferentemente do que ocorreu no verão, onde em todos os turnos a entalpia esteve dentro da zona de conforto térmico para estes animais.

Para frangos de corte na quarta semana, foi possível observar situação de desconforto por frio, no interior da instalação, apenas no primeiro turno durante o inverno, e nos demais turnos desse período experimental, turnos 2, 3 e 4, os valores de entalpia estiveram dentro da faixa recomendada por Barbosa et al. (2007). Esse comportamento não foi observado durante o verão, onde todos os turnos estiveram com os valores de entalpia acima da zona de conforto para estes animais.

Considerando a faixa de conforto para frangos de corte na quinta e sexta semana, e analisando a Figura 10, percebe-se que a entalpia no interior do aviário, para o período experimental inverno, esteve dentro dos padrões de referência de conforto determinados por Barbosa et al. (2007), em todos os turnos avaliados para animais na quinta semana, e para frangos de corte na sexta semana de criação, apenas o turno 3 apresentou condições entálpicas de desconforto por calor, sendo os demais turnos considerados confortáveis. Já no verão, para estas duas fases de criação, o ambiente no interior do aviário esteve com

valores de entalpia acima da zona de conforto para estes animais, o que caracteriza uma possível situação de estresse térmico. Nestes horários, em que a quantidade de energia presente no ambiente é superior ao recomendado, situação que provavelmente irá piorar ao confinar os animais devido a produção de energia pelos mesmos, sistemas de ventilação/refrigeração devem ser acionados com o intuito de dissipar parte desta energia presente no ambiente e conseqüentemente melhorar as trocas térmicas entre o animal e a instalação.

É importante ressaltar que, quando a instalação estiver ocupada, nos momentos em que a mesma não consegue ofertar condições térmicas confortáveis para os animais, o que varia conforme as fases de vida, turnos e estações climáticas; medidas de manejo de cortinas e sistemas de aquecimento/resfriamento devem ser utilizados para tentar garantir aos animais condições mais próximas daquelas consideradas confortáveis favorecendo assim a eficiência e até um possível aumento da produção animal.

Em muitos momentos dos períodos estudados, os valores de entalpia obtidos no ambiente permaneceram fora da zona de conforto para as aves, assim, pode-se supor que ficou evidente a ocorrência de situações inadequadas e estressantes para os animais, o que podem ocasionar perdas produtivas e econômicas, quando ocorrer a ocupação da instalação.

Entretanto, apesar da instalação apresentar elevados valores de entalpia no verão, principalmente durante os turnos 2 e 3, horários com condições microclimáticas mais severas, nos turnos 1 e 2, a entalpia dentro da instalação esteve superior àquela encontrada na área externa, ou seja, a quantidade de energia presente no ambiente interno é maior que a área externa devido às suas características construtivas, já que a instalação não possuía no momento do experimento nenhum animal confinado e nem sistema de aquecimento/refrigeração em uso. Isto reforça a importância de escolher e utilizar os materiais e técnicas construtivas mais adequados à criação de animais, pois, por mais que os mesmos não sejam suficientes para promover as condições de conforto necessária, mas certamente minimizam o desconforto causado pelo microclima local.

5.2 Simulação no *Energyplus*TM

A partir dos resultados obtidos por meio da modelagem computacional, foi inicialmente realizada a comparação entre os dados reais (coletados experimentalmente) e os simulados para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa e ITU, no interior do aviário, nos diferentes turnos considerados durante essa pesquisa, levando em conta no

decorrer da simulação, o modelo com as características reais da instalação (cobertura com telhas cerâmicas). Estes resultados estão exibidos nas Figuras 11, 12 e 13.

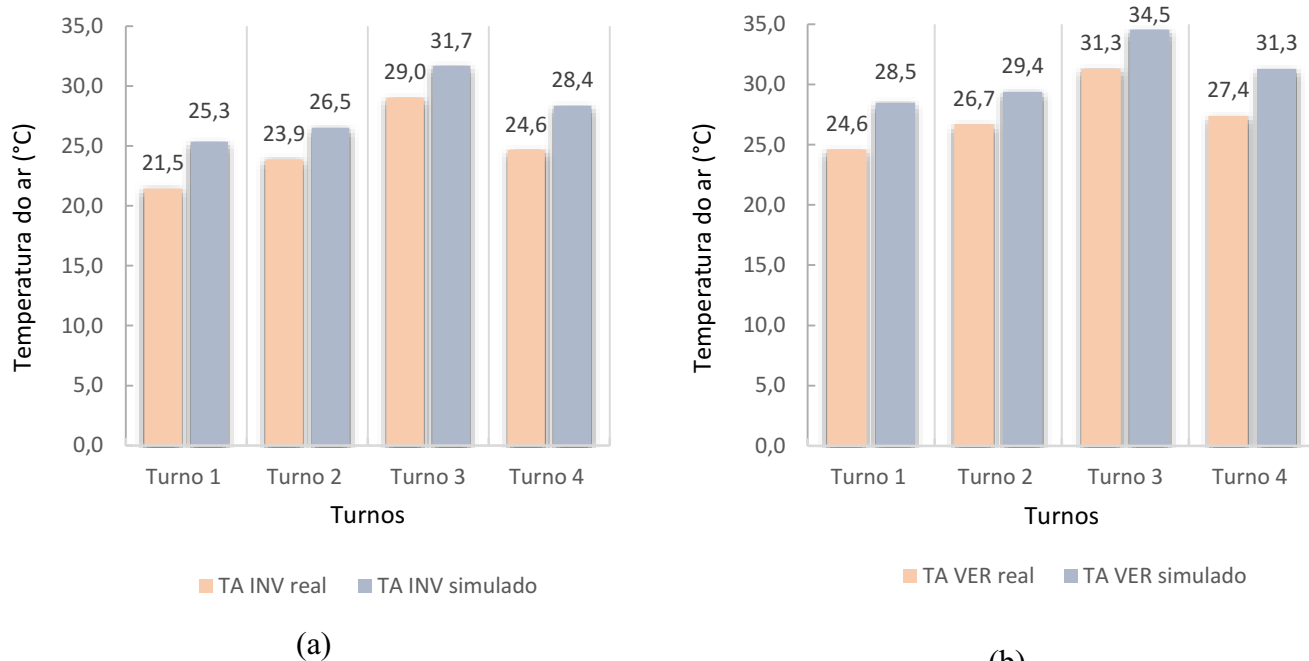
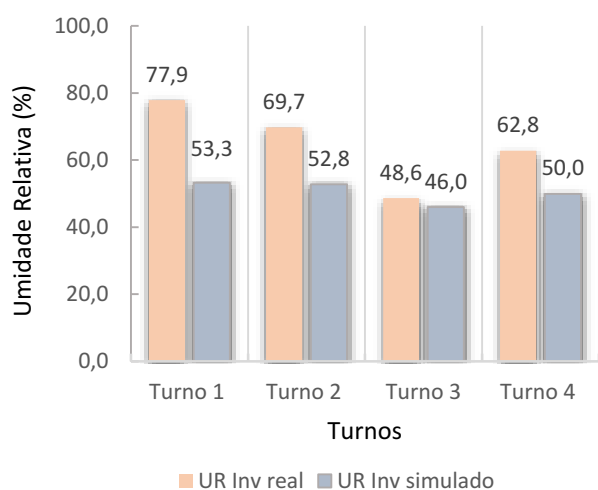


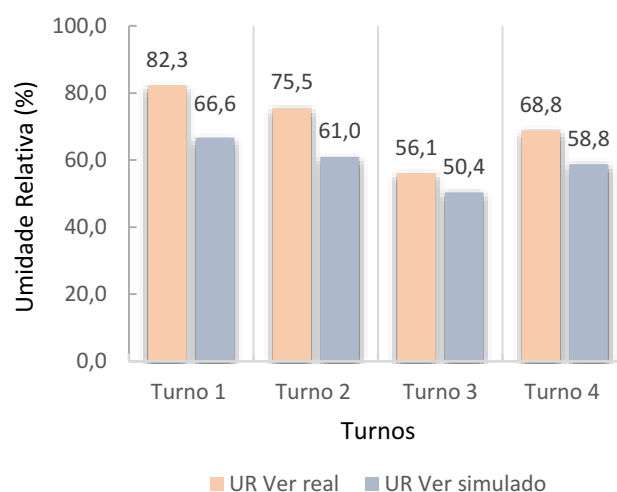
Figura 11. Temperatura do ar média real e simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b).

Os resultados exibidos na Figura 11 mostram que em todos os turnos a temperatura do ar simulada foi maior que a verificada experimentalmente, sendo possível observar que as maiores diferenças ocorreram nos turnos 1 e 4, tanto na estação de inverno quanto na estação de verão. Isso pode ser explicado devido ao fato de que o programa utiliza um ficheiro climático com uma série histórica de dez anos, fazendo a simulação para as situações mais críticas, considerando uma margem de segurança nos projetos.

Apesar destas diferenças entre os dados experimentais e simulados, percebe-se que o comportamento diário da temperatura do ar obtida das duas formas é o mesmo, onde o turno 1 apresenta as condições térmicas mais amenas, e o turno 3 as condições mais estressantes do ponto de vista do conforto térmico para aves de corte. Estes resultados expressam que a simulação a partir do EnergyPlus traz respostas confiáveis que podem auxiliar no manejo e tomada de decisão durante o processo de criação dos animais.



(a)



(b)

Figura 12. Umidade relativa média real e simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b).

Os resultados relacionados à umidade relativa, assim como aqueles referentes à temperatura do ar, mostram que houve uma diferença mais acentuada quanto aos dados reais e simulados principalmente nos turnos 1 e 4, entretanto a simulação mostra que o comportamento desta variável foi o mesmo que aquele obtido por meios experimentais. Esta diferença expressiva nos turnos 1 e 4 se deve ao fato de que durante o período experimental, tanto na estação de inverno quanto na estação de verão, o índice pluviométrico na cidade de Petrolina foi maior que a média, ocasionando um aumento na umidade relativa do ar. Entretanto, esta cidade caracteriza-se por possuir um clima quente e seco durante praticamente todo o ano, como indica a simulação.

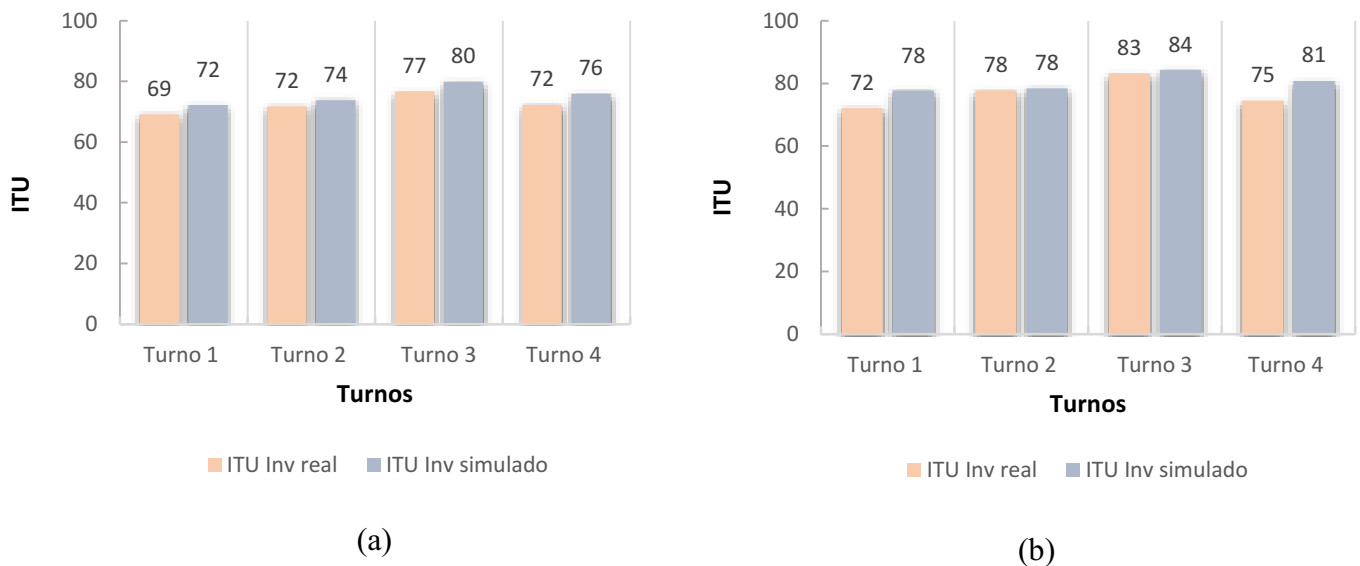
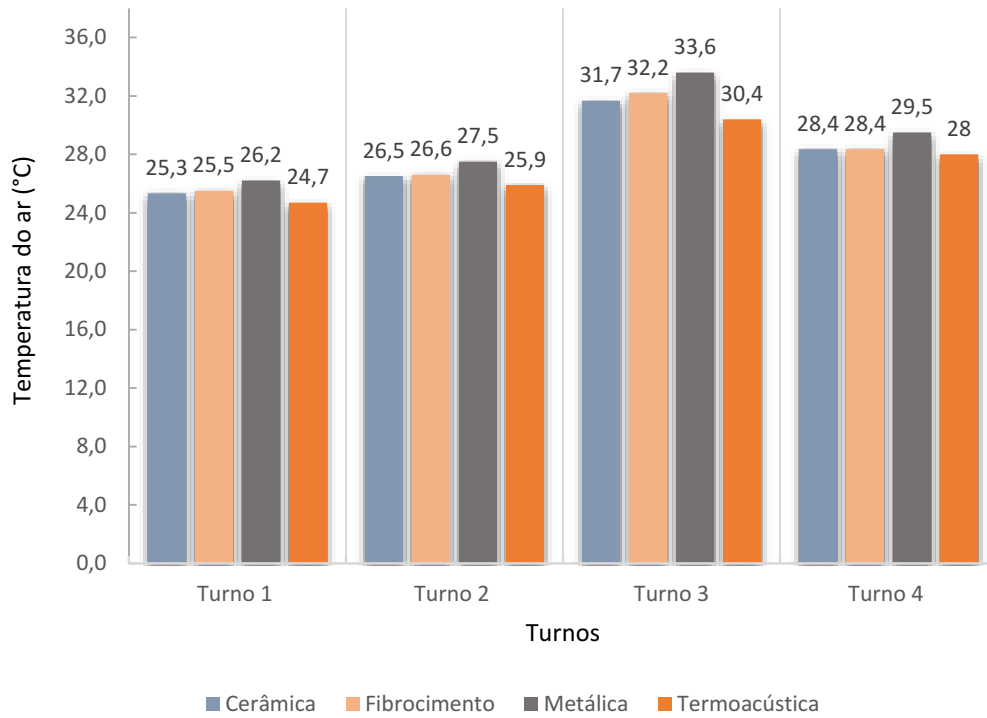


Figura 13. Índice de temperatura e umidade (ITU) real e simulado nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b).

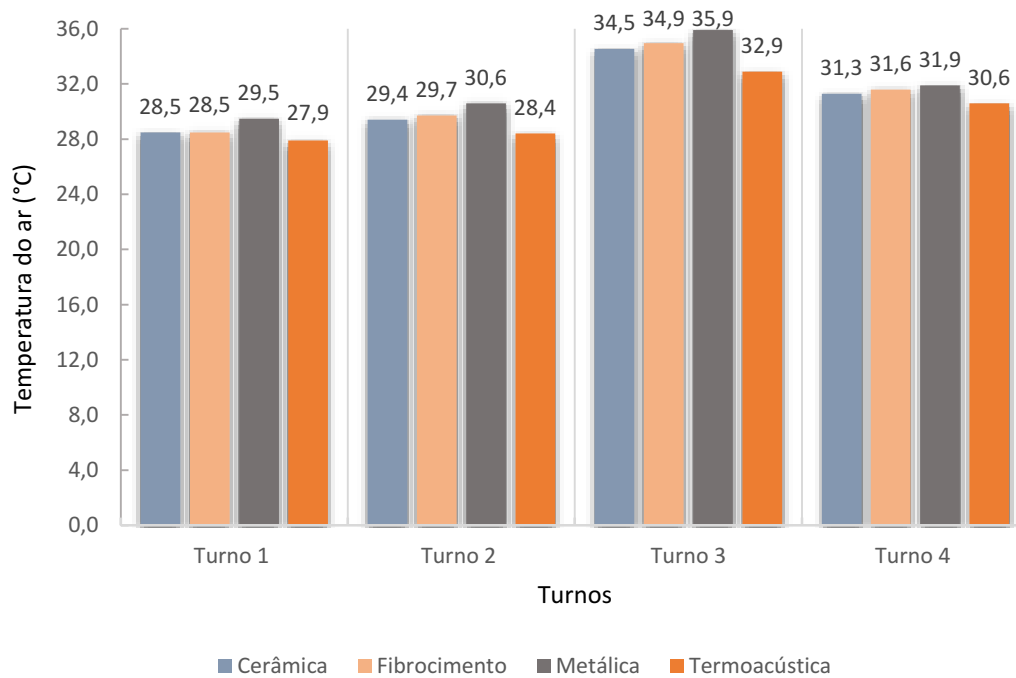
Assim como nos resultados para a variável temperatura do ar, a simulação do ITU apresentou valores maiores que os experimentais, contudo tanto os dados reais quanto os simulados evidenciam que os horários em que a instalação apresenta condições mais críticas de desconforto térmico por calor para aves de corte, principalmente durante as fases de crescimento e terminação, estão dentro do turno 3. Sendo o turno 3, aquele que apresenta o ambiente mais estressante, a fim de proporcionar conforto térmico aos animais e favorecer condições favoráveis para a produção animal é extremamente necessário utilizar sistemas de ventilação/refrigeração.

Após a análise comparativa das variáveis microclimáticas temperatura e umidade relativa do ar e do índice de conforto térmico ITU no interior do aviário obtidas de maneira experimental e simuladas, com o intuito de verificar a influência do material de cobertura no desempenho térmico de diferentes tipos de telhas, foram realizadas outras simulações no EnergyPlus para posteriormente determinar a eficiência térmica de cada uma delas em uma instalação localizada no semiárido pernambucano.

A Figura 14 apresenta os resultados da simulação da temperatura do ar no interior do aviário (objeto de estudo desta pesquisa), levando em conta diferentes tipos de telhas (cerâmica, fibrocimento, metálica e termoacústica), para os diferentes turnos e estações avaliados durante este trabalho.



(a)



(b)

Figura 14. Temperatura do ar média simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b) para os diferentes tipos de telhas.

A partir destes resultados é possível perceber que todas as telhas analisadas apresentaram o mesmo comportamento quanto aos valores de temperatura do ar no interior do aviário ao longo do dia, nas duas estações, com os menores valores no turno 1 e os maiores no turno 3.

Assim como foi visto e discutido nos resultados relacionados aos dados experimentais, percebe-se que em nenhuma das simulações com os diferentes materiais de cobertura, houve promoção de condições de conforto térmico em todos os turnos e estações, ou seja, isoladamente nenhuma das telhas (cerâmica, fibrocimento, metálica e termoacústica) é capaz de manter em todos os horários e estações o ambiente térmico da instalação dentro dos limites de conforto térmico para frangos de corte, entretanto é notório que a utilização de telhas metálicas, principalmente nos horários mais quentes do dia, torna o ambiente térmico no interior da instalação mais quente, ao comparar com os demais tipos de telhas, podendo ocasionar circunstâncias mais estressantes por calor do que as demais telhas avaliadas.

Já a utilização de telhas termoacústicas favorece a manutenção de condições de temperatura mais amenas no interior do aviário, apesar de também não proporcionar condições de conforto térmico em todos os horários. Entretanto, a utilização deste tipo de telha possivelmente reduzirá o investimento e manutenção dos sistemas de ventilação/refrigeração dentro do aviário, tendo em vista que o calor excedente no interior da instalação será menor que com demais materiais avaliados.

Os resultados exibidos anteriormente também mostram que o ambiente térmico do aviário ao utilizar telhas cerâmicas e telhas de fibrocimento é praticamente o mesmo, com diferenças de no máximo $0,5^{\circ}\text{C}$. Esse resultado possivelmente se dá devido às características térmicas desses dois materiais apresentarem valores próximos, sendo que a condutividade térmica e o calor específico da telha cerâmica é de $1,05 \text{ W/m.K}$ e $0,92 \text{ kJ/kg.K}$ e da telha de fibrocimento é de $0,95 \text{ W/m.K}$ e $0,84 \text{ kJ/kg.K}$.

É importante salientar que frangos de corte, alojados em ambiente com temperatura fora da zona de conforto térmico, necessitam desviar energia para buscar a manutenção da homeotermia, considerada a função basal mais importante e prioritária, em detrimento do desempenho produtivo (OLIVEIRA et al., 2006).

Segundo Silva et al. (2012), o processo da manutenção da homeotermia, somente é eficiente quando a temperatura ambiental estiver dentro dos limites da termoneutralidade, sendo que as aves não se ajustam perfeitamente em extremos de

temperatura podendo, inclusive, ter a vida ameaçada. Dessa forma, é importante que as aves sejam alojadas em ambientes onde seja possível o balanço térmico.

Quanto à umidade relativa do ar, os valores encontrados nas simulações para esta variável foram iguais para todos os tipos de telhas, ou seja, segundo o programa, as propriedades térmicas dos materiais de cobertura não interferem na umidade relativa do ar dentro da instalação.

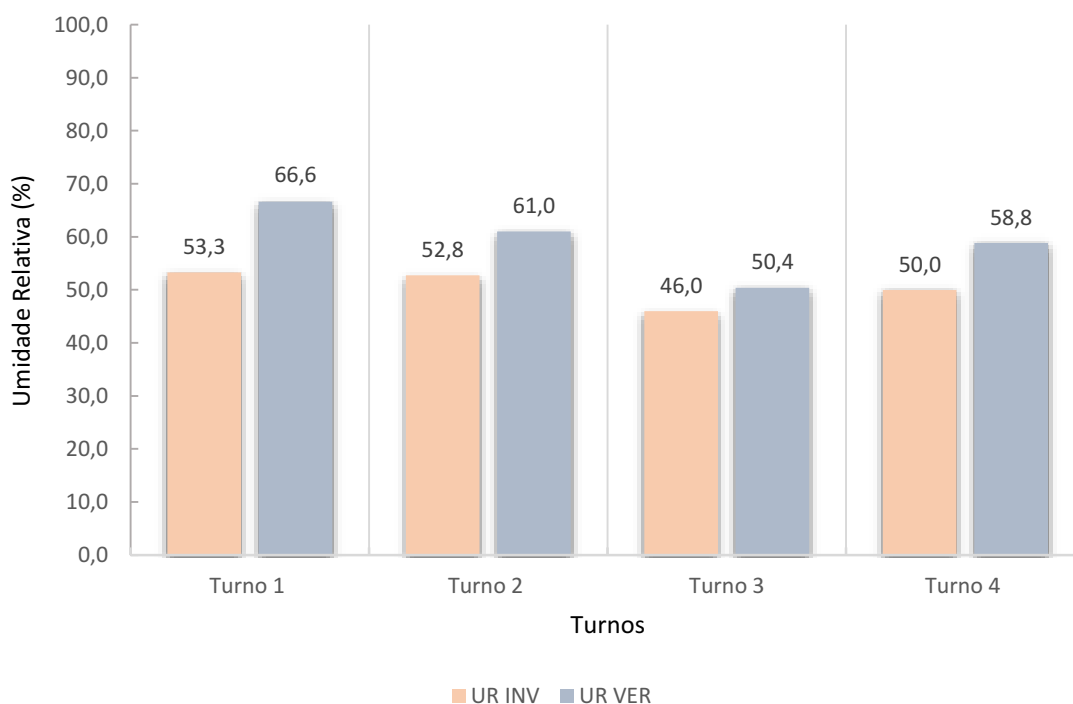


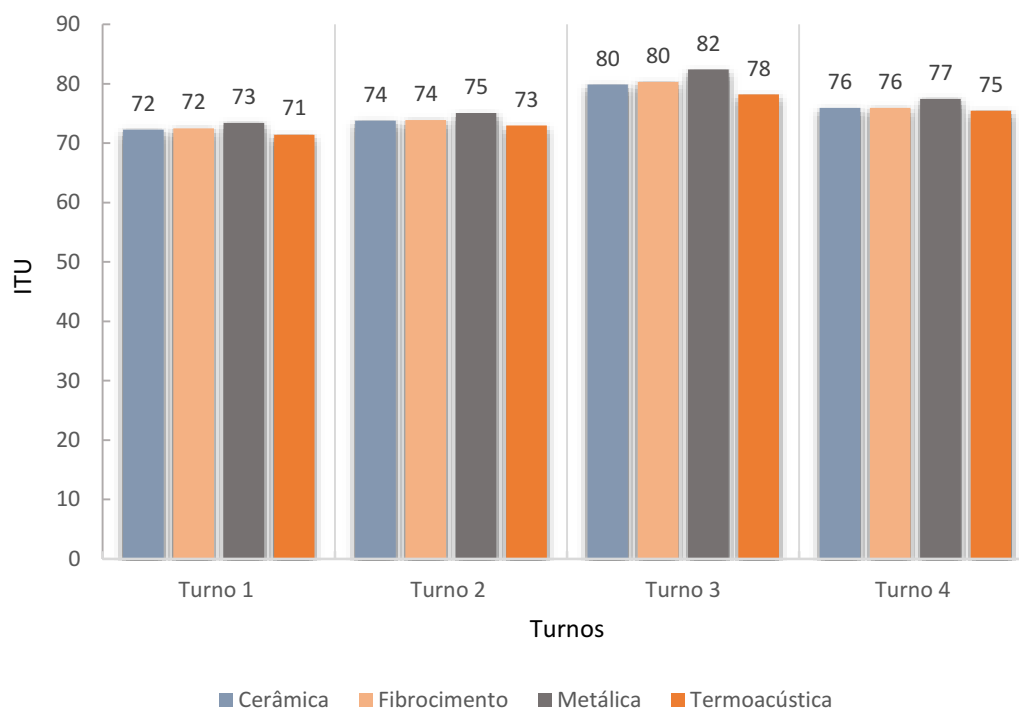
Figura 15. Umidade relativa do ar média simulada nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b) para os diferentes tipos de telhas.

Segundo Abreu e Abreu (2011), a umidade relativa considerada ideal para o confinamento de frangos de corte deve variar de 60 a 70%. Ao analisar a figura anterior é possível perceber que, de acordo com estes autores, apenas no verão, nos turnos 1 e 2 a umidade relativa do ar simulada para o aviário, para todos os tipos de telhas, apresentou condições confortáveis aos animais, sendo que nos demais turnos a UR esteve abaixo do ideal para frangos de corte. Como foi discutido anteriormente, baixos valores de UR podem causar desconforto térmico nas aves principalmente nas fases mais avançadas de criação, prejudicando as trocas de calor latente, podendo causar irritação cutânea e desidratação geral.

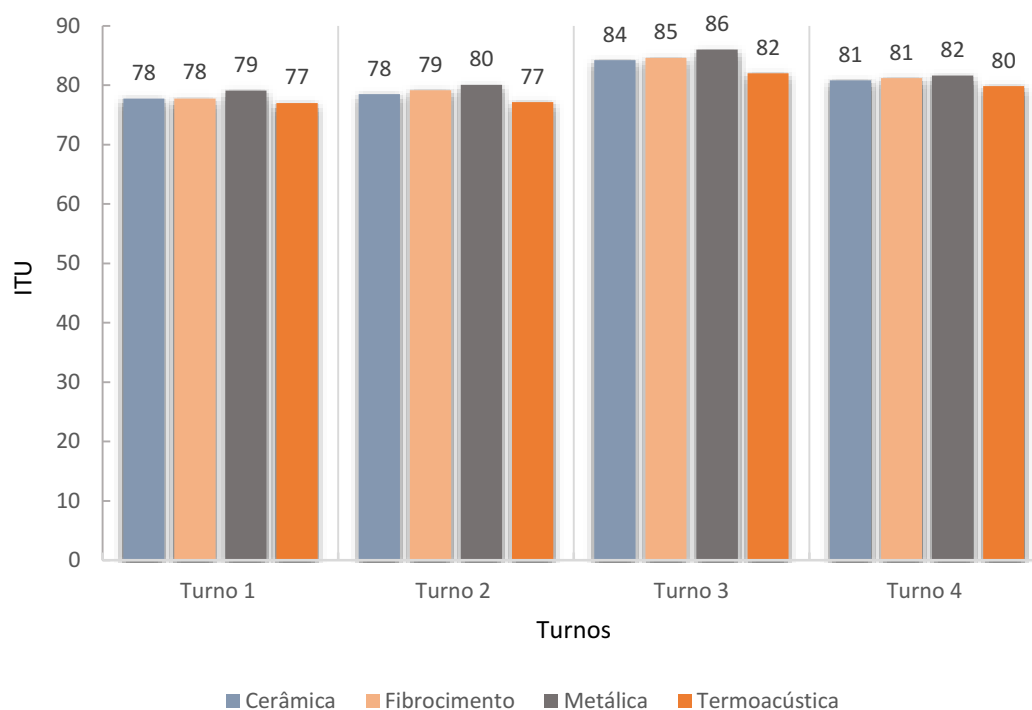
Segundo Borges et al. (2003), a suscetibilidade das aves ao estresse calórico aumenta à medida que a umidade relativa e a temperatura do ar ultrapassam a zona de conforto térmico, dificultando assim a dissipação de calor, incrementando conseqüentemente a temperatura corporal da ave, com efeito negativo sobre o desempenho animal.

Desta forma, os resultados da simulação mostram a necessidade de utilizar mecanismos artificiais que aumentem a umidade relativa do ambiente, independentemente do tipo de telha utilizada nas instalações situadas no semiárido pernambucano.

Os resultados relacionados à simulação do Índice de Temperatura e Umidade – ITU, estão exibidos na Figura 16.



(a)



(b)

Figura 16. Índice de temperatura e umidade (ITU) médio simulado nos diferentes turnos, Turno 1 – 1:00 às 6:00; Turno 2 – 7:00 às 12:00; Turno 3 - 13:00 às 18:00; e Turno 4 – 19:00 às 24:00, ao longo das estações inverno (a) e verão (b) para os diferentes tipos de telhas.

A Figura 16 mostra que o comportamento do ITU ao longo dos turnos e estações foi o mesmo para todos os tipos de telhas, onde o turno 1 apresentou as condições menos estressantes e o turno 3 as condições mais críticas, quanto à promoção de conforto térmico aos animais.

Os resultados acima mostram que o ITU no aviário com telhas cerâmicas e de fibrocimento são iguais em todos os turnos e estações, entretanto, apesar das telhas de fibrocimento (novas) apresentarem um desempenho térmico próximo ao das telhas cerâmicas, o que justificaria a sua utilização em detrimento do seu menor custo de instalação, à medida que estas telhas vão envelhecendo, as suas características físicas e térmicas vão se modificando, o que pode tornar o ambiente térmico no interior da edificação menos confortável.

De acordo com Abreu & Abreu (2002) e Silva et al., (2004), em um ambiente com condições de conforto, o ITU deve variar de 72,4 a 80,0, para a primeira semana de vida da ave; de 68,4 a 76 para a segunda semana; de 64,8 a 72 para a terceira semana; de 60,5 a 68,0 para a quarta semana; de 56,6 a 64,0 para a quinta semana e de 56,6 a 60,0 para a sexta semana de vida do animal.

Analisando a figura 16, e de acordo com as referências citadas anteriormente, percebe-se que tanto na estação de inverno quanto na estação de verão nenhuma das telhas conseguiu promover um ambiente térmico adequado à criação de frangos de corte a partir da quarta semana, sendo que a situação mais crítica do ambiente foi apresentada na simulação com telhas metálicas, principalmente durante o turno 3, promovendo condições de estresse térmico.

De acordo com Silva et al. (2015), para condições de regiões intertropicais, o estresse térmico por calor pode causar grandes prejuízos econômicos, pois influencia consideravelmente o desempenho dos animais homeotérmicos, reduzindo assim o consumo de alimento, conseqüentemente aumentando o consumo de água, além de afetar a produção (carne e ovos) e suas funções fisiológicas e metabólicas, levando a situações extremas, como queda da imunidade e assim ocasionando altas taxas de mortalidade. Por isso, modificações nos ambientes de criação e no manejo alimentar das aves são extremamente necessários para o sucesso da produção.

Além das simulações realizadas anteriormente para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa e do ITU, foi realizada a simulação da carga térmica no interior do aviário, considerando diferentes tipos de telhas (termoacústica, cerâmica, fibrocimento e metálica), para o dia típico de verão, ou seja, o dia mais quente numa série histórica dos

últimos dez anos, Figura 17. Ou seja, determinou-se a quantidade de calor (sensível e latente), que deve ser retirada do ambiente a fim de proporcionar as condições de conforto para frangos de corte.

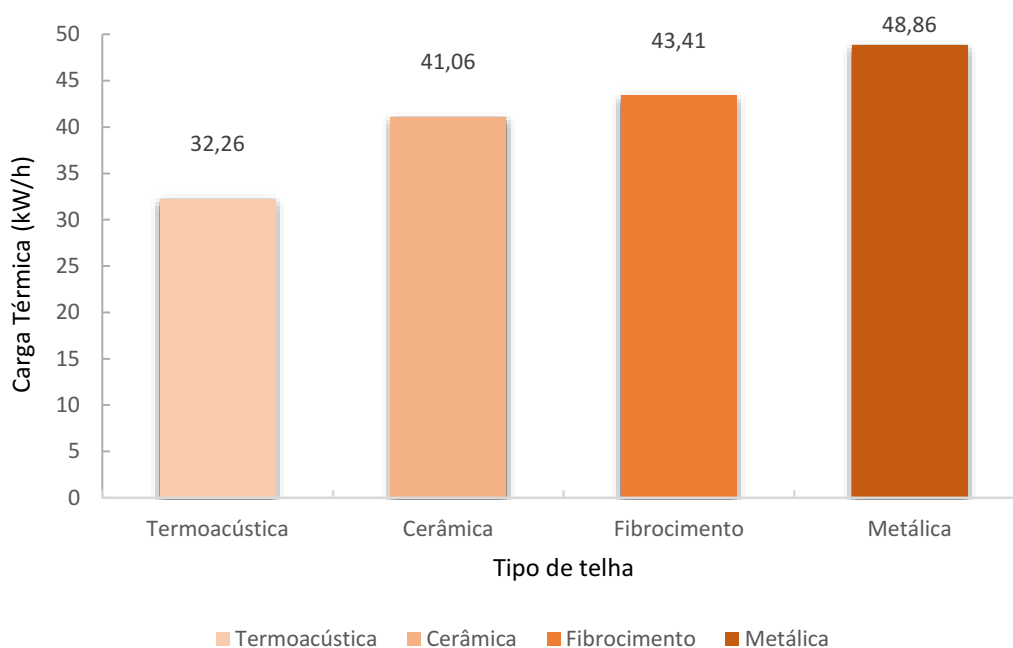


Figura 17. Carga térmica (kW/h) no interior do aviário para os diferentes tipos de telhas.

A partir destes resultados é possível perceber que a carga térmica da instalação com as suas características reais, telha cerâmica, é de 41,06 kW/h, ou seja, ao usar um sistema de resfriamento neste aviário, com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico dos animais, e manter a temperatura ambiente variando em torno de 20 a 22 ° C temperatura confortável para frangos de corte na quinta semana de vida, de acordo com Cassuce (2011), é necessário retirar esta quantidade de calor do sistema, por unidade de tempo, objetivando a manutenção desta temperatura. Como foi discutido nos resultados exibidos anteriormente, instalações com condições microclimáticas dentro dos padrões de referência para o conforto térmico das aves, melhoram a qualidade de vida destes animais e colaboram para um aumento da produção animal.

Ao comparar os resultados da simulação da carga térmica da telha cerâmica com os demais tipos de telha analisados neste trabalho (termoacústica, fibrocimento e metálica), é possível notar que a telha termoacústica apresentou o melhor desempenho termoenergético, conseguindo diminuir 21,43% da carga térmica da instalação, considerando as suas características reais (telha cerâmica). Este resultado possivelmente se deve às propriedades físicas e térmicas dos materiais que compõem este tipo de telha,

sendo que estas são formadas por duas chapas metálicas, cujo interior é composto por uma camada de material isolante promovendo o isolamento térmico e acústico, melhorando a qualidade do ambiente interno da edificação. Ou seja, o melhor desempenho térmico provavelmente se deve à refletância da superfície metálica da telha termoacústica, assim como à dissipação do calor absorvido e baixa condutividade térmica do poliestireno expandido utilizado no preenchimento da telha.

Resultados semelhantes àqueles verificados neste trabalho foram observados por Tokusumi e Foiato (2019), onde estes pesquisadores, ao analisarem o desempenho termoacústico de telhas, notaram que a telha termoacústica se sobressaiu em relação à telha cerâmica e telha de fibrocimento, tanto em relação à maior atenuação sonora quanto referente à menor transferência de calor para dentro do ambiente construído.

Em virtude do menor coeficiente de condutividade térmica da telha termoacústica (0,04 W/m.K), comparada à telha de fibrocimento (0,95 W/m.K), à telha cerâmica (1,05 W/m.K) e à telha metálica (55 W/m.K), a sua condução do calor para o interior da edificação é menor, provocando, conseqüentemente, uma diminuição da carga térmica no interior do aviário, proporcionando melhores condições de conforto térmico aos animais e provavelmente menores custos de implantação e manutenção de um sistema de refrigeração. Entretanto, apesar destas telhas evitarem custos desnecessários com climatização, proporcionarem um aumento da produtividade e economia de energia, a utilização deste tipo de telha, em instalações para animais, ainda é bastante limitada principalmente pelo seu alto custo de instalação, ou seja, o investimento necessário para aquisição deste tipo de telha é superior às opções de cobertura com telhas cerâmicas, fibrocimento e metálicas.

Quanto à telha de fibrocimento, a simulação mostrou (Figura 17), que a carga térmica da edificação foi superior 5,72% à carga térmica da instalação com suas características reais, telha cerâmica. Entretanto, ao comparar a carga térmica da instalação com telhas cerâmicas e as demais telhas analisadas (termoacústicas, fibrocimento e metálicas), a de fibrocimento é aquela que apresenta diferenças menos expressivas. Esse resultado possivelmente se dá pelas características térmicas desses dois materiais apresentarem valores próximos, sendo que a condutividade térmica e o calor específico da telha cerâmica é de 1,05 W/m.K e 0,92 kJ/kg.K e da telha de fibrocimento é de 0,95 W/m.K e 0,84 kJ/kg.K.

Como foi dito anteriormente, à medida que estas telhas vão envelhecendo, as suas características físicas e térmicas se modificam, influenciando no conforto térmico da

instalação. De acordo com Coelho et al. (2017), no caso específico das telhas de fibrocimento, os principais processos naturais de deterioração ao longo de sua vida útil são a carbonatação, a eflorescência e o desenvolvimento de fungos, os quais ocorrem devido à exposição às intempéries e à periodicidade da manutenção da estrutura em serviço.

Coelho et al. (2017) ao avaliar o desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural concluíram que telhas com fungos após 36 meses apresentaram aumento nas absorvâncias e temperaturas superficiais, indicando que a presença de fungos pode incrementar os ganhos de calor solar pelas edificações. Estes resultados comprovam que os processos de envelhecimento natural de telhas de fibrocimento podem alterar consideravelmente seu desempenho térmico ao longo da vida útil de uma edificação, comprometendo as suas condições de conforto térmico e/ou exigindo maiores investimentos em sistema de refrigeração/ventilação.

Oliveira et al. (2016), ao estudarem o desempenho térmico de edificações a partir de um estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas, puderam inferir que apesar do valor para execução do telhado com telhas de fibrocimento ser inferior em relação aos outros sistemas, seu desempenho térmico foi o pior em comparação às demais coberturas (telhado verde e telhas cerâmicas), e foi verificado também que para proporcionar um melhor conforto térmico foi necessário utilizar tinta branca sobre as telhas de fibrocimento.

No que se refere ao desempenho térmico da telha metálica, a Figura 17 mostra que dentre todos os materiais estudados, este telhado foi aquele que apresentou menor desempenho térmico, sendo que, a partir dos resultados obtidos por meio da simulação, a carga térmica no interior do aviário foi 21,43% superior à carga térmica da instalação com telha cerâmica, indicando possivelmente maiores possibilidades de desconforto térmico, e conseqüentemente uma diminuição da produção animal quando comparado às características reais da edificação. Além disso, este resultado sugere que, ao utilizar um sistema de refrigeração nesta instalação (com telha metálica), com o intuito de melhorar as suas características térmicas, será necessário um maior investimento tanto de implantação quanto de manutenção do sistema.

Acredita-se que a instalação com telhas metálicas apresentou maior carga térmica quando comparada às demais (termoacústica, cerâmica e fibrocimento), devido às suas propriedades termofísicas. Apesar deste tipo de telha apresentar alta refletância, a mesma

possui pequena espessura e alta condutividade térmica, aumentando assim a transferência de calor para o interior da edificação e o ganho de energia.

Resultados similares à esta pesquisa foram verificados por Sampaio et al. (2011), onde ao analisarem as temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico, perceberam que as telhas cerâmicas e de fibrocimento apresentaram comportamentos térmicos semelhantes, e as telhas foram piores no conforto térmico comparado com as outras telhas.

Silva et al. (2015), ao avaliarem o desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas, também puderam inferir que a utilização de telhas cerâmicas, quando comparada às demais telhas testadas (fibrocimento e metálica), propicia melhores condições de conforto térmico.

6. CONCLUSÕES

- Diante dos resultados é possível inferir que o microclima no interior do aviário, tanto no inverno quanto no verão, apresentou situações de conforto e desconforto para frangos de corte, variando de acordo com o turno e idade do animal considerada;
- Tanto no inverno como no verão, quando a instalação estiver ocupada, será necessário utilizar sistemas de aquecimento/refrigeração, além da adoção de cortinas e técnicas específicas de manejo para promoção do conforto térmico animal;
- A partir das simulações computacionais foi possível constatar que EnergyPlus apresentou-se uma ferramenta útil para elaboração de projetos, sendo uma ferramenta eficaz nos estudos relacionados à ambiência;
- No aviário estudado, para as condições climáticas de Petrolina, as telhas termoacústicas proporcionam melhor desempenho térmico seguido de telhas cerâmicas, fibrocimento e metálicas;
- Apesar das telhas termoacústicas terem apresentado melhor desempenho térmico, tanto no inverno quanto no verão foi possível verificar situações de desconforto térmico no projeto do aviário com este material, indicando que as condições do semiárido pernambucano exigem a necessidade de utilização de mecanismos artificiais de ventilação/refrigeração intuito de tentar fornecer, durante todos os turnos e fases de criação animal, condições favoráveis ao conforto térmico animal;

7. REFERÊNCIAS

- Abreu, V. M. N.; Abreu, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1-14, 2011.
- Akutsu, M. Métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 156p.,1998.
- Albino, L. F. T.; Carvalho, B. R.; Maia, R. C.; Barros, V. R. S. M. Galinhas Poedeiras: Criação e Alimentação. Viçosa, Minas Gerais: Aprenda Fácil, 376p., 2014.
- Al-Homoud, M. S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*. v. 40, p. 353-366, 2005.
- Almeida, A. C. Avaliação do conforto térmico de ovinos a céu aberto e em ambiente de confinamento na região norte da Bahia. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Vale do São Francisco, 60 p., 2011.
- Amaral, A. G.; Yanagi Junior, T.; Lima, R. R.; Teixeira, V. H.; Schassi, L. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 63, n. 3, p. 649–658, 2011.
- Angelo, M. S. P. Programa computacional para o cálculo de índices de conforto térmico na produção industrial de animais para carne e leite. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Paulista. 66 p., 2013.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.
- Baêta, F. C.; Souza, C. F. *Ambiência em edificações rurais: Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 269p., 2010.
- Baêta, F. C.; Souza, C. F. *Ambiência em edificações rurais - conforto animal*. Viçosa: UFV, 246 p., 1997.

Barbosa Filho, J. A. D.; Vieira, F. M. C.; Garcia, D. B.; Silva, M. A. N.; Silva, I. J. O. Mudanças e uso das Tabelas de Entalpia. Piracicaba, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.nupea.esalq.usp.br/>> . Acesso em 23 de jun. 2020.

Barbosa, P. F.; Costa, M. A. B.; Torres, I. Modelos de simulação como ferramentas de auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de corte. In: BARBOSA, P. F.; ASSIS, A. G.; COSTA, M. A. B. Modelagem e simulação de sistemas de produção animal. Anais...São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. P. 97-119.

Batista, J. O.; Lamberts, R.; Westphal, F. S. Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o EnergyPlus™. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. CTC- ECV- NPC. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

Batista, M.; Neitzel, I. Simulação de um aviário: uma análise das condições de conforto para as aves. Revista Técnico-Científica do CREA-Edição Especial, 2018.

Bellei, I. H. Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo. 5. ed. São Paulo: PINI, 2006.

Bond, T. E.; Kelly, C. F. The globe thermometer in agricultural research. Agriculture Engineering, California, v.36, p. 251-260, 1955.

Borges, S. A.; Maiorka, A.; Silva, A. V. F. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. Ciência Rural, v. 33, nº. 5, p. 975-981, 2003.

Brito, I. F. Ambiência e bem-estar de ovelhas criadas em sistema agrossilvipastoril no semiárido cearense. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Zootecnia - Universidade Federal do Ceará. 69f., 2012.

Buffington, D. E.; Collazo Arocho, A.; Canton, G. H. Pitt, D. Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. Trans. ASAE, v.24, n. 3, p. 711-714, 1981.

Cabral, M. R.; Nakanishi, E. Y.; Fiorelli, J.; Savastano Júnior, H. Avaliação do desempenho térmico de bezerreiros com eco-forro de partículas de madeira e fibra de sisal. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas v. 11, n. 3, p. 217-228, 2017.

Campos, A. T. Determinação dos índices de conforto térmico e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa – MG. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa. 66p., 1986.

Cândido, M. G. L.; Tinôco, I. F. F.; Pinto, F. A. C.; Santos, N. T.; Roberti, R. P. Determination of thermal comfort zone for early-stage broilers. Engenharia Agrícola, v. 36, n. 5, p. 760–767, 2016.

Caneppele, L. B; Nogueira, M. C. J. A.; Vasconcellos, A. B. Avaliação da eficiência energética e custo benefício no uso de coberturas metálicas em supermercados empregando o software EnergyPlus. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 9, n 9, p. 1971-1979, 2013.

Carvalho, C. C. S.; Santos, T. C.; Silva, G. C.; Santos, L. V.; Moreira, S. J. M.; Luiz F. R. Botelho, L. F. R. Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.18 n.7, p.769–773, 2014.

Cassuce, D. C. Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil. 2011. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa. 91f., 2011.

Cézar, R. L. Pintura do telhado de galpões para frangos de corte: ambiência e parâmetros fisiológicos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência Animal - Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás. 63p., 2012.

Coelho, D. J. R.; Tinôco, I. F. F; Souza, C. F.; Baptista, F. J. F.; Barbari, M.; Oliveira, K. P. Thermal environment of masonry-walled poultry house in the initial life stage of broilers. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, n.3, p.203-208, 2019.

Coelho, T. C. C.; Gomes, C. E. M.; Dornelles, K. A. Desempenho térmico e absorvância solar de telhas de fibrocimento sem amianto submetidas a diferentes processos de envelhecimento natural. Ambiente Construído, v. 17, n. 1, p. 147-161, 2017.

Conceição, M. N.; Alves, S. P.; Telatin Júnior, A.; Silva, J. O; Piedade, S. M. S.; Savastano Júnior. H.; Toloni, G. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras

vegetais em protótipos de galpões. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.5, p.536–539, 2008.

Cordeiro, E. A. R.; Souza, S. R. L.; Glavina, A. S. G.; Pito, E. S.; Bueno, L. G. F. Simulação CFD do ambiente de instalações para frangos de corte visando o conforto térmico. *Energia na Agricultura*, Botucatu, vol. 31, n.4, p.342-347, outubro-novembro, 2016.

Cordeiro, M. B.; Tinôco, I. de F. F.; Silva, J. N.; Vigoderis, R. B.; Pinto, F. de A. de C.; Cecom, P. R. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n. 1, p.217- 224, 2010.

Cravo, J. C. M.; Polycarpo, G. V.; Cruz, V. C.; Sartoril, D. L.; Balieiro, J. C. C.; Fiorelli, J. Caracterização tipológica de aviários em uma integradora do Estado de São Paulo. *Revista Ciências Agrárias*, v. 55, n.2, p. 154-158, 2012.

Cunha, C. C. Avaliação de desempenho da produção de frangos de corte no Brasil utilizando a análise envoltória de dados e o Índice de Malmquist. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Agronegócios - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília. 81 p., 2014.

Dias, A. S. Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Universidade Federal de Ouro Preto. 110 p., 2011.

Esmay, M. L. *Principles of animal environment*. 2nd ed. West port: AVI, 1974. 325 p.

Esmay, M.L. *Principles of animal environment*. Westport: The AVI Publishing Company, 1979. 325 p.

Fiorelli, J.; Fonseca, R.; Morceli, J. A. B.; Dias, A. A. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. *Engenharia Agrícola*, v.30, n.5, p.986-992, 2010.

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, n. 2, p. 204-209, 2009.

Freitas Filho, P. J. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena*. Visual Books, 305 p., 2008.

Furlan, R. L.; Macari, M. *Fisiologia aviária aplicada a frango de corte*. 2ª ed. Jaboticabal: FUNEP, p.209-230, 2002.

Furtado, D. A.; Mota, J. K. M.; Nascimento, J. W. B. do; Silva, V. R. da; Tota, L. C. A. Produção de ovos de matrizes pesadas criadas sob estresse térmico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n. 7, p.748-753, 2011.

Furtado, D. A.; Tinôco, I. F. F.; Nascimento, J. W. B.; Leal, A. F.; Azevedo, M. A. Caracterização das instalações avícolas na Mesorregião do Agreste Paraibano. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 831-840, 2005.

Galindo, A. S. *Eficiência energética de telhados no Brasil*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Pernambuco. 135p., 2015.

Garcia, R. G.; Almeida Paz, I. C. L; Caldara, F. R.; Nääs, I. A; Pereira, D. F; Ferreira, V. M. O. S; Selecting the Most Adequate Bedding Material for Broiler Production in Brazil. *International Journal of Poultry Science*, v.14, n.2, p.71-158, 2012.

Han, A. Y.; Zhang, M. H.; Zuo, X. L.; Zheng, S. S.; Zhao, C. F.; Feng, J. H.; Cheng, C. Effect of acute heat stress on calcium concentration, proliferation, cell cycle, and interleukin-2 production in splenic lymphocytes from broiler chickens. *Poultry Science*, v. 89, n. 10, p. 2063-2070, 2010.

Jacome, 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*, v.11, n.5, p.527-531, 2007.

Labee -Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em : < <http://www.labee.ufsc.br/ensino/pos-graduacao/ecv4202>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

Lopes, S. P. Estudo de galpões para a criação de frangos de corte, do ponto de vista higrotérmico, nas condições climáticas brasileiras. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 155 p., 1986.

Lourençoni, D. Modelagem fuzzy e efeito das mudanças climáticas nas respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras. 119 p., 2017.

Macari, M.; Furlan, R. L.; Silva, I. J. O. Ambiência na produção de aves em clima tropical. Ambiência na produção de aves em clima tropical. Piracicaba: FUNEP, v. 1, p. 31-87, 2001.

Marder, J; Arad, Z. Panting and acid-base regulation in heat stressed birds. Comparative Biochemistry and Physiology, v.94, p.395-400, 1989.

Marques, T. H. T. Influência das propriedades térmicas da envolvente opaca no desempenho de habitações de interesse social em São Carlos, SP. Dissertação de mestrado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos – Universidade de São Paulo. 145 p., 2013.

Medeiros, C. M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. Tese de doutorado. Pós Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa. 125 p., 2001.

Medeiros, C. M.; Baêta, F. C.; Oliveira, R. F. M.; Tinôco, I. de F. F.; Albino, L. F. T.; Cecon, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. Revista Engenharia na Agricultura, v.13, n. 4, p.277-286, 2005.

Melo, T.; Furlan, R.; Milani, A.; Buzanskas, M.; Moura, A.; Mota, D.; Cardoso, D. Avaliação de diferentes inclinações e exposições de telhado em três tipos de cobertura em modelos reduzidos de instalações zootécnicas. Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 3, p. 1327-1338, 2013.

Mendes, M. A. S. A. Caracterização do ambiente térmico de aviários de postura, em sistemas verticais, ventilados naturalmente e por pressão negativa em modo túnel. Tese

de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa. 151 p., 2015.

Menegali, I.; Baeta, F. C.; Tinoco, I. de F. F.; Cordeiro, M. B.; Guimarães, M. C. C. Desempenho produtivo de frangos de corte em diferentes sistemas de instalações semiclimatizadas no sul do Brasil. *Engenharia na Agricultura*, v.18, n. 6, p.461-471, 2010.

Menegali, I.; Tinôco, I. de F. F.; Carvalho, C. C. S.; Souza, C. de F.; Martins, J. H. Comportamento de variáveis climáticas em sistemas de ventilação mínima para produção de pintos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n. 1, p.106-113, 2013.

Michels, C.; Lamberts, R.; Guths, S. Avaliação da redução no fluxo de calor proporcionada pelo uso de barreiras adiantes em cobertura. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Florianópolis, 2006.

Michels, C.; Lamberts, R.; Güths, S. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. *Energy and Buildings*, v. 40, n. 4, p. 445-451, 2008.

Miyage, P. E. Introdução a Simulação Discreta. São Paulo, SP, 2006.

Müller, P. B. Bioclimatologia Aplicada aos Animais Domésticos. 2a ed. Posto Alegre: Sulina, 1982. 183p.

Nääs, I. A. Princípios do Conforto Térmico na Produção Animal. São Paulo: Editora Icone, 1989. 183p.

Nääs, I. A.; Pereira, D. F.; Baracho, M. S. Bem estar e comportamento. Manejo de matrizes de corte - Campinas: FACTA, 2005. p.45-52. 421p.

Nääs, I. A.; Sevegnani, K. B.; Marcheto, F. G.; Espelho, J. C. C.; Menegassi, V.; Silva, I. J. O. Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betume, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. *Revista Engenharia Agrícola*, v.21, n.2, p.121- 126, 2001.

Nazareno, A. C.; Pandorfi, H.; Almeida, G. L. P.; Giongo, P. R.; Pedrosa, E. M. R.; Guiseline, 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.

Nienaber, J. A.; Hahn, G. L. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: International symposium of the cigr. New trends in farm buildings, 1., 2004, Évora. Proceedings... Évora: CIGR, 2004.

Oliveira, P. L.; Soares, R. G.; Santos, S. X. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. Revista Petra, v. 2, n. 1, p. 36-55, 2016.

Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Abreu, M. L. T.; Ferreira, R. A.; Vaz, R. G. M. V.; Cella, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

Pandorfi, H.; Silva, I. J. O.; Piedade S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, n. 3, p. 326-332, 2008.

Passini, R.; Araujo, M. A. G.; Yasuda, V. M.; Almeida, E. A. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 3, p. 333-338, 2013.

Paula, M. O. de; Sá, L. V. de; Carvalho, S. de O.; Tinôco, I. de F. F. Análise do conforto térmico e do desempenho animal em galpão para frango de corte na fase inicial de vida. Enciclopédia Biosfera, v.10, n. 18, p.236-250, 2014.

Perdomo, C. C. Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001.

Ponciano, P. F. et al. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão. Revista Archivos de Zootecnia, v. 60, p. 1-13, 2011.

Prado, D. Usando o ARENA em simulação. v.3, 4ed. INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, Nova Lima, 307 p. 2010.

Queiroz, M. L. V. Automatização da ventilação em galpão de frango de corte através do Índice Entalpia de Conforto (IEC). Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal do Ceará. 169 p., 2018.

Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. M. C.; Nascimento, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal of Biometeorology*, Suisse, v. 55, n. 3, p. 455-459, 2010.

Sabino, L. A. Estudo da distribuição da temperatura em Instalações para a criação de fêmeas suínas em fase de Gestação com o uso da fluidodinâmica computacional (CFD). Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas. 89 p., 2015.

Salgado, D. D. Modelo estatístico para predição de bem-estar de reprodutoras de frango de corte baseado em dados de ambiente e análise do comportamento. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 126 p., 2006.

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, n.2, p.230-236, 2011.

Sarmiento, L. G. V., Dantas, R. T., Furtado, D. A., Nascimento, J. W. B., Silva, J. H. V. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. *Revista Agropecuária Técnica*, v.26, n. 2, p. 117 – 122, 2005.

Schiassi, L.; Yanagi Júnior, T.; Ferraz, P. F. P; Campos, A. T.; Silva, G. R.; Abreu, L. H. P. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. *Engenharia Agrícola*, v.35, n.3, p.390-396, 2015.

Schmidt, N. S.; Silva, C. L. Pesquisa e Desenvolvimento na Cadeia Produtiva de Frangos de Corte no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Piracicaba-SP, v.56, n.3, p. 467-482, 2018.

Shaw, M. A. O. Eficiência térmica de coberturas ventiladas: Estudos no clima tropical semiárido. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Vale do São Francisco. 64 p., 2018.

Silva, I. J. O.; Vieira, F. M. C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. *Archivos de zootecnia* vol. 59, p. 114, 2010.

Silva, J. H. V.; Jordão Filho, J.; Costa, F. G. P.; Lacerda, P. B.; Vargas, D. G. V.; Lima, M. R. Exigências nutricionais de codornas. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v.13, n.3, p.775- 790, 2012.

Silva, M. G.; Martin, S.; Oliveira, C. E. G; Moscon, E. S.; Damasceno, F. A. Desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas. *Revista Energia na Agricultura, Botucatu*, vol. 30, n.3, p.269-275, 2015.

Silva, M. G; Martin, S.; Oliveira, C. E. G; Moscon E. S.; Damasceno, F. A. Desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas. *Energia na Agricultura*, v. 30, n. 3, p. 269-275, 2015.

Silva, P. M. A. Aplicação do programa EnergyPlus como ferramenta do projecto de comportamento térmico de edificios de habitação. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 153 p, 2010.

Silva, R. C.; Rodrigues, L. R.; Rodrigues, V. P.; Arruda, A. S.; Souza, B. B. Análises do efeito do estresse térmico sobre produção, fisiologia e dieta de aves. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 11, n. 2, p. 22-26, 2015.

Siqueira, T. C. P. A.; Akutsu, M.; Lopes, J. I. E.; Souza, H. A. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. *Revista Escola de Minas*, v. 58, n. 2, p. 133-139, 2005.

Souza, F. C.; Tinôco, I. F. F.; Baêta, C. F.; Ferreira, M. P. W.; Silva, S. R. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Ciência Agrotecnica*, v. 26, n.1, p.157-164, 2002.

Souza, M. G.; Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Maia, A. P. A.; BALbino, E. M.; Oliveira, W. P. Utilização das vitaminas C e E em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 10, p. 2192-2198, 2011.

Starling, J. M. C. Silva, R. G.; Ceron, M. M.; Barbosa, G. S. S. C.; Costa, M. J. R. P. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n. 5, p. 2070-2077, 2002.

Suetake, G. Y. Avaliação do desempenho térmico de mantas isolantes em guaritas de fibra de vidro. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil -Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 95 p., 2017.

Takahashi, L. S.; Biller, J. D.; Takahashi, K. M. Bioclimatologia zootécnica. Jaboticabal: [s.n.], 2009. p. 13-39.

Tan, G. Y. L.; Yang, L.; Fu, Y. Q.; Feng, J. H.; Zhang, M. H. Effects of different acute high ambient temperatures on function of hepatic mitochondrial respiration, antioxidative enzymes, and oxidative injury in broiler chickens. *Poultry Science*, v. 89, n. 1, p. 115-122, 2010.

Teixeira, V. H. Construções e Ambiência - instalações para aves e suínos. Lavras: UFLA/FAEPE, 181p., 1997.

Thom, E. C. The discomfort index. *Weatherwise*, Boston, v. 12, n. 1, p. 57-60, 1958.

Tinôco, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v.3, n.1, p.1-26, 2001.

Tinôco, I. F. F. Ambiência e instalações para a avicultura industrial. In: TEIXEIRA, V.H.; FERREIRA, L. Lavras: UFLA/SBEA, p.1-86., 1998.

Tokusumi, A. T. G.; Foiato, M. Análise de desempenho termoacústico de telhas. *Conhecimento em Construção*, v. 6, p. 35-48, 2018/2019.

Tonoli, G. H. D.; Santos, S. F.; Rabi, J. A.; Santos, W. N.; Savastano Júnior, H. Thermal performance of sisal fiber-cement roofing tiles for rural constructions. *Scientia Agricola*, v.68, n. 1, p.1-7, 2011.

Vale, M. M.; Moura, D. J.; Nääs, I. A.; Oliveira, S. R. M.; Rodrigues, L. H. A. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 3, p. 223-229, 2008.

Vigoderis, R. B.; Cordeiro, D. A.; Souza, W. M.; Silva, J. M.; Guiseline, C. Uso da simulação computacional como ferramenta de tomada de decisão na implantação de aviários climatizados no estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.09, n.07, p. 2405-2415, 2016.

Vigoderis, R. B.; Cordeiro, M. B.; Tinôco, I. de F. F.; Menegali, I.; Souza Júnior, J. P. de; Holanda, M. C. R. de. Avaliação do uso de ventilação mínima em galpões avícolas e de sua influência no desempenho de aves de corte no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n. 6, p.1381-1386, 2010.

Vittorino, F.; Sato, N. M. N.; Akutsu, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. *Revista de Tecnologia da Construção – Téchne*, n. 75, p. 66-70, 2003.

Webster, M. D.; King, J. R. Temperature and humidity dynamics of cutaneous and respiratory evaporation in pigeons, *Columba livia*. *Journal of comparative physiology*. v.157, n. 2, p.253- 260, 1987.

Yahav, S.; Straschnow, A.; Luger, D.; Shinder, D.; Tanny, J.; Cohen, S. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. *Poultry science*, v. 83, n. 2, p.253–258, 2004.