

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das  
temperaturas corporais**

**Sheila Tavares Nascimento**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Física do  
Ambiente Agrícola

**Piracicaba  
2010**

Sheila Tavares Nascimento  
Zootecnista

**Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das  
temperaturas corporais**

Orientador:  
Prof. Dr. **IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Física do  
Ambiente Agrícola

**Piracicaba  
2010**

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Verso da Folha de Rosto**

**Elaborada pelo Tratamento da Informação  
(Biblioteca Central)**



*Aos meus pais,*

*Lúcia e José Carlos, por todo o amor,*

*Dedicação e por me ensinarem a valorizar*

*Os maiores bens que um ser humano pode ter:*

*A educação e o conhecimento!*

*Agradeço por todas as oportunidades e ensinamentos ao longo da vida...*

*...Eu sou um reflexo do amor de vocês!*

*A minha irmã,*

*Viviane, por ser meu porto seguro, minha melhor amiga*

*e companheira em todos os momentos de minha vida!*

*Dedico.*



## AGRADECIMENTOS

À ESALQ e ao PPG em Física do Ambiente Agrícola, pela oportunidade e pelos conhecimentos adquiridos, e em especial ao professor Sérgio Oliveira Moraes, pelo apoio e palavras de incentivo.

Ao professor Iran José Oliveira da Silva e ao NUPEA, em primeiro lugar pela oportunidade de desenvolver um trabalho que me fascina; e pelos ensinamentos, por me ensinar que, por trás de tudo que fazemos, existem grandes aprendizados.

Ao professor Alex Sandro Campos Maia, por despertar em mim a paixão pela Bioclimatologia, por sempre acreditar em mim e ser meu grande incentivador... Pela admiração profissional e pessoal que tenho por você desde a minha graduação e por ter me acompanhado durante esta etapa. Você é a prova de que a distância física em nada interfere nos vínculos outrora firmados.

À professora Késia Oliveira da Silva Miranda, pela amizade e contribuições ao longo do curso.

Aos professores Vicente José Maria Savino e Antonio Augusto Domingos Coelho, ao Departamento de Genética da ESALQ e aos funcionários Luciano e Jair, pela ajuda durante todo o experimento.

Aos professores César Lima e Carlos Tadeu dos Santos Dias, pela ajuda nas análises.

Ao professor Gerson Barreto Mourão, pelo auxílio nas análises e pelas palavras sempre de apoio e incentivo.

Aos funcionários do departamento de Engenharia de Biosistemas, com especial agradecimento à Angela M. D. Silva e Ilze H. de Gaspari, pela amizade e apoio em momentos particulares.

Aos colegas do PPG em Física do Ambiente Agrícola.

Aos funcionários Hélio, Luiz e Antônio, sem a ajuda dos quais meu experimento não existiria... Pelas milhares de idas e vindas da Genética ao NUPEA e pelo incentivo.

A primeira turma de Zootecnia da FEIS – UNESP, e seus grandes mestres, essenciais para minha formação pessoal e profissional.

Ao incubatório Ninho Verde, em especial ao Sr. Moisés Davi Rutes, pela disponibilidade e fornecimento dos animais.

A minha querida amiga, a irmã que a vida colocou em meu caminho, Giselle Borges, por sua força e determinação, pela coragem e por mostrar que a nossa amizade é verdadeira, mesmo frente a tantas provações. A saudade é imensa, mas estou feliz por você estar seguindo seus sonhos!

Às minhas amigas Natalia Risi e Maria Luísa Appendino Nunes, pela amizade, cumplicidade. Admiro a força e o caráter de vocês. Duas grandes mulheres que tive a sorte de conhecer.

Aos amigos: Valéria Rodrigues, por ter me acolhido e pelo seu carinho desde meu ingresso; Frederico Vieira, eu não estaria aqui hoje não fosse por suas palavras incentivadoras (na hora e no lugar certo), e Aérica Cirqueira Nazareno, pelas palavras de afeto e carinho sempre.

Ariane Castro, meu braço direito durante a execução da pesquisa. Os méritos deste trabalho também são seus. Pelas risadas e companheirismo, você sabe o quanto é responsável por me fazer enxergar a vida de maneira mais alegre e simples.

Aos amigos Juliano Camargo, Rofson Falcão, Elisabete Mellace, Renata Vieira, Elenilson Bortollini, Paulo Abili e Claiton Zotti, pela amizade e contribuições, admiro vocês.

Ao querido amigo Maicon Sbardella, ombro amigo em todas as horas, companheiro de muitas alegrias. Sua paixão pela profissão é um incentivo para mim, sempre. És especial em minha vida!

A minha amiga Simone Pértile, que sempre sabe usar palavras certas na hora certa. Pela ajuda no trabalho e pela amizade. És responsável por me transmitir energia positiva e de me incentivar em momentos que achava que seria impossível prosseguir.

Aos meus amigos do PPG em Máquinas Agrícolas, em especial a Mateus Marrafon, Hudson Nardi; a Gilda Brasil, amiga especial, pela amizade e companheirismo. Sempre que precisei de palavras de incentivo, lá estava você! E a Gustavo Portz, pela amizade, cumplicidade e conversas que sempre me ensinaram muito. Meu carinho especial por você!



"Mas na profissão, além de amar tem de saber. E o saber leva tempo para crescer"

Rubem Alves

"Tua caminhada ainda não terminou  
 A realidade te acolhe  
 Dizendo que pela frente o horizonte da vida  
 Necessita de tuas palavras e de teu silêncio.  
 Se amanhã sentires saudades, lembra-te da fantasia e  
 Sonha com tua próxima vitória.  
 Vitória que todas as armas do mundo  
 Jamais conseguirão obter,  
 Porque é uma vitória que surge da paz,  
 E não do ressentimento.

É certo que irás encontrar situações  
 Tempestuosas novamente,  
 Mas haverás de ver sempre  
 O lado bom da chuva que cai  
 E não a faceta do raio que a destrói.  
 Tu és jovem. Atender a quem te chama é belo,  
 Lutar por quem te rejeita  
 É quase chegar à perfeição.

A juventude precisa de sonhos e se nutrir de lembranças,  
 Assim como o leito dos rios precisa da água que rola  
 E o coração necessita de afeto.  
 Não faças do amanhã o sinônimo de nunca,  
 Nem o ontem te seja o mesmo que nunca mais.  
 Teus passos ficaram...  
 Olha para trás... Mas vai em frente  
 Pois há muitos que precisam que chegues para poderem seguir-te"

Charles Chaplin



## SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT .....	15
LISTA DE FIGURAS .....	17
LISTA DE TABELAS .....	19
1 INTRODUÇÃO .....	25
2.1 Bem estar animal .....	27
2.2 Balanço de calor em frangos de corte.....	30
2.2.1 Cálculo das trocas sensíveis .....	34
2.2.2 Cálculo das trocas latentes .....	35
2.3 Temperatura Cloacal.....	36
2.4 Frequência Respiratória .....	38
2.5 Temperatura Superficial Corpórea .....	38
2.6 Radiação de Infravermelho .....	39
REFERÊNCIAS.....	41
3 IDENTIFICAÇÃO DE PARAMÊTROS FISIOLÓGICOS PARA DIFERENTES LINHAGENS DE FRANGOS DE CORTE SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE CONFORTO E ESTRESSE .....	47
Resumo.....	47
Abstract .....	48
3.1 Introdução .....	49
3.2 Material e Métodos.....	52
3.2.1 Aves .....	52
3.2.2 Condições climáticas.....	53
3.2.3 Controle do ambiente experimental – Câmara climática .....	55
3.2.4 Controle do ambiente de criação – Galpão experimental.....	55
3.2.5 Delineamento Experimental .....	55
3.2.6 Variáveis respostas .....	61
3.3 Resultados e Discussão.....	62
3.3.1 Frequência Respiratória .....	62
3.3.2 Temperatura Cloacal.....	69

3.4 Conclusões parciais.....	75
Referências.....	76
4 DETERMINAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL CORPÓREA MÉDIA DE FRANGOS DE CORTE .....	80
Resumo .....	80
Abstract.....	81
4.2 Material e Métodos .....	84
4.2.1 Aves.....	84
4.2.2 Condições climáticas .....	85
4.2.3 Controle do ambiente experimental – Câmara climática.....	85
4.2.4 Controle do ambiente de criação – Galpão experimental .....	86
4.2.5 Delineamento Experimental.....	86
4.2.6 Variáveis respostas.....	91
4.2.7 Modelos de Regressão .....	93
4.3 Resultados e Discussão .....	95
4.3.1 Temperatura Superficial Corpórea.....	95
4.3.2 Equações de Regressão.....	108
4.4 Conclusões Parciais .....	113
Referências.....	114
5 BALANÇO E AVALIAÇÃO DO PERFIL DAS TROCAS DE CALOR EM FRANGOS DE CORTE SUBMETIDOS A CONDIÇÕES DE CONFORTO E ESTRESSE.....	116
Resumo .....	116
Abstract.....	117
5.1 Introdução.....	118
5.2 Material e Métodos .....	120
5.2.1 Variáveis Ambientais .....	120
5.2.2 Balanço de calor .....	122
5.2.2.1 Trocas sensíveis.....	122
5.2.2.2 Trocas latentes .....	127
5.3 Resultados e Discussão .....	128
5.4 Conclusões parciais.....	142

Referências .....	142
6 CONCLUSÕES GERAIS.....	145



## RESUMO

### **Determinação do balanço de calor em frangos de corte por meio das temperaturas corporais**

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento térmico de diferentes linhagens de frangos de corte submetidas a estresse e conforto durante o ciclo de produção. Para isso, realizou-se um experimento em câmara climática, durante as seis semanas do ciclo de criação, em que os animais foram submetidos a duas condições ambientais: conforto e estresse. Foram adotados quatro tratamentos, sendo assim definidos: tratamento C60 (condição de conforto), com 60 minutos de exposição; tratamento E30, tratamento E60 e tratamento E90 (condição de estresse), com 30, 60 e 90 minutos de exposição, respectivamente. O delineamento experimental adotado foi o de quadrados latinos 4 x 4, sendo caracterizados por quatro lotes de aves, expostas aos quatro tratamentos, nos quatro primeiros dias de cada semana. As aves, das linhagens Avian e Cobb, foram divididas em lotes de 48 aves por semana, totalizando 96 animais, e totalizando 586 aves, de ambos os sexos, durante todo o período experimental. As variáveis climáticas adotadas para as condições de conforto e estresse diferiram ao longo das semanas, uma vez que as necessidades térmicas de frangos de corte diferem com o decorrer do ciclo produtivo. No primeiro capítulo, as variáveis fisiológicas, frequência respiratória e temperatura cloacal foram estudadas, estipulando-se, dessa maneira, faixas para as condições de conforto e estresse. Com base nessas variáveis, estudou-se a tolerância das linhagens ao estresse térmico, e observou-se que a linhagem Cobb é mais tolerante ao estresse térmico. No segundo capítulo, estudou-se a influência de tempo de exposição sobre a temperatura superficial das seguintes regiões corporais: asa, cabeça, pata, dorso e crista. O tempo de exposição não influenciou, em nenhuma das semanas, a temperatura superficial das aves, havendo diferenças significativas apenas entre a condição de conforto e estresse. Baseando-se nessas informações, e nessas regiões corporais, determinaram-se modelos de regressão linear múltipla para cada uma das semanas do ciclo de criação, para ambas as linhagens, sendo denominadas por TSM Nascimento. A escolha dos modelos foi realizada pelo método da máxima verossimilhança, pelo critério de Akaike (AIC) e pelo teste qui-quadrado para verificar o número de regiões corporais incluídas em cada um dos distintos modelos. No terceiro capítulo, efetuou-se o balanço de calor sensível e latente das aves, baseado nos modelos de temperatura superficial TSM Nascimento, na temperatura do núcleo corporal (adotada na pesquisa como a temperatura cloacal) e nas variáveis ambientais coletadas durante a pesquisa, para ambas as linhagens. Observou-se que, em condição de conforto, a partir da terceira semana, as trocas sensíveis correspondem a até 80% do total das trocas de calor. Em estresse térmico, as trocas latentes correspondem a até 84% do total. Verificou-se que as aves são mais susceptíveis ao estresse térmico na terceira semana do ciclo produtivo.

Palavras-chave: Termorregulação; Avicultura; Temperatura superficial; Trocas latentes; Trocas sensíveis





## ABSTRACT

### **Determination of heat balance in broiler chickens through body temperatures**

The aim of this research was to evaluate thermal behaviour of different broiler chicken strains submitted to stress and comfort through lifecycle. Thereunto, an experiment was accomplished in climatic chamber, during the six weeks of life of the birds, with the animals submitted to two environmental conditions: comfort and stress. Four treatments were adopted, defined as: treatment C60 (comfort condition), with 60 minutes of exposure; treatment E30, treatment E60 and treatment E90 (stress condition), with 30, 60 and 90 minutes of exposure, respectively. Experimental design adopted was a 4 x 4 latin square, characterized by four lots of birds, exposed to the four treatments, in the first four days of each week. Broiler, from Avian and Cobb strains, were divided in lots of 48 birds per week, totalizing 96 animals, and totalizing 586 animals, both sexes, during all experimental period. Climatic variables adopted to comfort and stress conditions differed through the weeks, once that thermal requirements of broiler chickens differ throughout growing cycle. In the first chapter, physiological variables respiration rate and cloacal temperature were studied, stipulating in this way, bands to comfort and stress conditions. Based on these variables, the tolerance of strains to thermal stress was studied, and was observed that Cobb strain is more tolerant to heat stress. In the second chapter, the influence of exposure time on superficial temperature was studied in the following body regions: wing, head, feet, back and comb. Exposure time did not influence, in none of weeks, superficial temperature of birds, with significative differences only among comfort and stress conditions. Based on these boards, and on these body regions, multiple linear regression models were determined to each week of lifecycle, to both strains, being named as TSM Nascimento. The selection of the models was done by maximum likelihood method, by Akaike's criteria (AIC) and by qui-square test to verify the number of body regions included in each one of the models. In the third chapter, was accomplished sensible and latent heat balance of the birds, based on superficial temperature models TSM Nascimento, core body temperature (adopted in the research as cloacal temperature) and on environmental variables collected during the research, to both strains. It was observed that in comfort condition, from third week of lifecycle and on, sensible exchanges corresponded for up to 80% of the total exchanges. In thermal stress, latent exchanges corresponded for up to 84% of the total. It was verified that broiler chickens are more susceptible to thermal stress in the third week of lifecycle.

Keywords: Thermoregulation; Poultry; Superficial temperature; Sensible exchanges; Latent exchanges



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismos de perda e ganho de calor das aves.....	31
Figura 2 - Organograma geral da pesquisa.....	52
Figura 3 - (a) Croqui da vista horizontal da câmara climática e (b) vista da distribuição dos boxes experimentais .....	53
Figura 4 - FR média para as linhagens Avian e Cobb na 3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> e 6 <sup>a</sup> semanas do ciclo de criação.....	66
Figura 5 - Frequência respiratória das linhagens Avian e Cobb na quinta semana de criação, para as três condições experimentais.....	67
Figura 6 - Organograma geral da pesquisa.....	84
Figura 7 - Medidas de temperatura superficial das aves nas diferentes regiões corporais .....	92
Figura 8 - Temperaturas médias da pata para a interação linhagem e tratamento, para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb na primeira semana de vida. ....	105
Figura 9 - Comparação entre as equações de regressão adotadas para o cálculo da TSM: TSM Nascimento e TSM Richards – (a) linhagem Avian e (b) linhagem Cobb na 1 <sup>a</sup> semana do ciclo; (c) linhagem Avian e (d) linhagem Cobb na 2 <sup>a</sup> semana de vida .....	110
Figura 10 - Comparação entre as equações de regressão adotadas para o cálculo da TSM: TSM Nascimento e TSM Richards – (a) linhagem Avian e (b) linhagem Cobb na 3 <sup>a</sup> semana do ciclo; (c) linhagem Avian e (d) linhagem Cobb na 4 <sup>a</sup> semana de vida .....	111
Figura 11 - Comparação entre as equações de regressão adotadas para o cálculo da TSM: TSM Nascimento e TSM Richards – (a) linhagem Avian e (b) linhagem Cobb na 5 <sup>a</sup> semana do ciclo; (c) linhagem Avian e (d) linhagem Cobb na 6 <sup>a</sup> semana de vida .....	112
Figura 12 - Transição entre as trocas sensíveis e latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb submetidas aos tratamentos C60, E30, E60 e E90 - (a) primeira semana de criação; (b) segunda semana de criação .....	137

- Figura 13 - Transição entre as trocas sensíveis e latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb submetidas aos tratamentos C60, E30, E60 e E90 - (a) terceira semana de criação; (b) quarta semana de criação..... 137
- Figura 14 -Transição entre as trocas sensíveis e latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb submetidas aos tratamentos C60, E30, E60 e E90 - (a) quinta semana de criação; (b) sexta semana de criação ..... 137
- Figura 15 - Trocas sensíveis para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação - (a) tratamento C60; (b) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Avian e (c) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Cobb..... 140
- Figura 16 - Trocas latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação - (a) tratamento C60; (b) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Avian e (c) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Cobb..... 141

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites teóricos propostos pela literatura para condições de conforto e estresse térmico para frangos de corte, para cada semana de criação ....	54
Tabela 2 - Faixas limites das condições experimentais para frangos de corte, utilizadas na pesquisa, em ambiente controlado.....	54
Tabela 3 - Condições experimentais para frangos de corte na primeira semana de criação.....	56
Tabela 4 - Condições experimentais para frangos de corte na segunda semana de criação.....	57
Tabela 5 - Condições experimentais para frangos de corte na terceira semana de criação.....	57
Tabela 6 - Condições experimentais para frangos de corte na quarta semana de criação .....	58
Tabela 7 - Condições experimentais para frangos de corte na quinta semana de criação .....	58
Tabela 8 - Condições experimentais para frangos de corte na sexta semana de criação .....	59
Tabela 9 - Quadrado latino 4 x 4 geral para as diferentes semanas de criação.....	59
Tabela 10 - Valores médios da frequência respiratória para a terceira, quinta e sexta semanas de criação, para os quatro tratamentos, para as três condições estudadas e seus respectivos deltas, para ambas as linhagens.....	64
Tabela 11 - Valores médios de FR recomendados para as seis semanas do ciclo de criação, em condições de conforto e estresse térmico para as linhagens Avian e Cobb.....	68
Tabela 12 - Faixas ideais de FR para o ciclo de produção de frangos de corte, em condição de conforto, descritas na literatura.....	68
Tabela 13 - Temperatura cloacal média para aves das linhagens Avian e Cobb durante a segunda semana do ciclo de criação para os tratamentos C60, E30, E60 e E90.....	69

Tabela 14 - Valores médios da temperatura cloacal para a terceira, quarta, quinta e sexta semanas de criação, para os quatro tratamentos, para as três condições estudadas e seus respectivos deltas.....	71
Tabela 15 - Temperatura cloacal (°C) das linhagens Avian e Cobb para as três condições experimentais, na sexta semana do ciclo de criação .....	74
Tabela 16 - Valores médios de temperatura cloacal, em condição de conforto e estresse térmico, recomendados para as seis semanas do ciclo de criação para as linhagens Avian e Cobb.....	75
Tabela 17 - Faixas ideais de temperatura cloacal para o ciclo de produção de frangos de corte, em condição de conforto, descritas na literatura .....	75
Tabela 18 - Faixas limites das condições experimentais para frangos de corte, utilizadas na pesquisa, em ambiente controlado .....	85
Tabela 19 - Condições experimentais na primeira semana de criação .....	87
Tabela 20 - Condições experimentais na segunda semana de criação.....	88
Tabela 21 - Condições experimentais na terceira semana de criação .....	88
Tabela 22 - Condições experimentais na quarta semana de criação .....	88
Tabela 23 - Condições experimentais na quinta semana de criação.....	89
Tabela 24 - Condições experimentais na sexta semana de criação.....	89
Tabela 25 - Quadrado latino 4 x 4 adotado durante o período experimental.....	89
Tabela 26 - Temperaturas médias das regiões da asa, cabeça e dorso em função dos tratamentos adotado, para aves das linhagens Avian e Cobb durante a primeira semana do ciclo de criação .....	95
Tabela 27 - Temperatura da asa para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas para a segunda à sexta semana .....	97
Tabela 28 - Temperatura da cabeça para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas da segunda à sexta semana .....	99
Tabela 29 - Temperatura do dorso para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas da segunda à sexta semana .....	100
Tabela 30 - Temperatura da pata para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas para a segunda até a sexta semana .....	103

Tabela 31 - Temperatura da crista para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas para a quarta até a sexta semana .....	106
Tabela 32 - Modelos de regressão linear múltipla para o cálculo da TSM Nascimento para as linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação.....	109
Tabela 33 - Faixas de temperatura e umidade relativa adotadas na pesquisa, em ambiente controlado.....	121
Tabela 34 - Determinação das características do ar à temperatura t (°C).....	121
Tabela 35 - Modelos de regressão linear múltiplas para o cálculo da TSM Nascimento durante o ciclo de criação, para as linhagens Avian e Cobb.....	125
Tabela 36 - Dados médios de temperatura de bulbo seco (T <sub>bs</sub> ), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (T <sub>g</sub> ) para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 em câmara climática, nas seis semanas do ciclo de criação .....	128
Tabela 37 - Valores médios de viscosidade cinemática (v), densidade do ar (ρ), condutividade térmica (k), calor específico (c <sub>p</sub> ) e velocidade do ar mensurada à altura do globo negro em ambiente controlado durante as seis semanas de pesquisa, para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 .....	129
Tabela 38 - Números adimensionais de Prandtl (Pr), Reynolds (Re) e de Nusselt (Nu), coeficiente de convecção do globo negro (h <sub>c</sub> ) e valores de (TRM), para os tratamentos C60, E30, E60 e E90, para as seis semanas do ciclo de criação, em ambiente controlado .....	130
Tabela 39 - Valores de TSM (TSM Avian e TSM Cobb), T <sub>m</sub> (T <sub>m</sub> Avian e T <sub>m</sub> Cobb) e diâmetro médio das aves (d <sub>b</sub> Avian e d <sub>b</sub> Cobb) para os tratamentos C60, E30, E60 e E90, nas seis semanas do ciclo de criação .....	131
Tabela 40 - Valores de resistência da camada limite às trocas de calor por radiação (r <sub>r</sub> Avian e r <sub>r</sub> Cobb) e por convecção (r <sub>h</sub> Avian e r <sub>h</sub> Cobb) para as seis semanas do ciclo de criação, nos tratamentos C60, E30, E60 e E90.....	132
Tabela 41 - Trocas sensíveis por radiação, convecção e trocas sensíveis totais, em W.m <sup>-2</sup> , para as linhagens Avian e Cobb, nas seis semanas do ciclo de criação, nos tratamentos C60, E30, E60 e E90 .....	133

Tabela 42 – Trocas sensíveis, trocas latentes e trocas totais, em $W.m^{-2}$ , para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante o ciclo de produção, para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 .....	136
--	-----



## LISTA DE SÍMBOLOS

U	viscosidade cinemática do ar, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
$\rho$	densidade do ar, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
k	condutividade térmica do ar, $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
$c_p$	calor específico do ar, $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
G <sub>s</sub>	trocas de calor sensíveis, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Cr	fluxo de calor por convecção, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
L	fluxo de calor por radiação, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
rh	resistência da camada limite à transferência de calor por convecção
$d_b$	diâmetro médio do corpo da ave, m
Nu	número de Nusselt
Re	número de Reynolds
$d_t$	diâmetro do globo negro, m
V	velocidade de deslocamento do ar, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$T_R$	temperatura radiante média, K
rr	resistência da camada limite à transferência de calor por radiação
$\epsilon_s$	emissividade das penas
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann
$T_M$	valor médio entre as temperaturas corporais e radiante média, K
$h_c$	coeficiente de convecção do globo negro
$T_a$	temperatura do ar, K
$T_g$	temperatura de globo negro, K
Pr	número de Prandtl
E	fluxo total de calor por evaporação, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
$e_a$	pressão de vapor do ambiente, kPa
$T_{nc}$	temperatura do núcleo corporal das aves, K



## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura é uma das atividades agropecuárias de maior destaque no Brasil, sendo atualmente o terceiro maior produtor de carne de frango, atrás apenas dos Estados Unidos e da China. O país ocupa a liderança na exportação mundial, em virtude do elevado nível tecnológico do setor e dos constantes aprimoramentos da cadeia, como, por exemplo, a melhoria das condições de ambiência e avanços na nutrição, manejo, sanidade e melhoramento genético.

Para que a avicultura mantenha ou supere os atuais índices de produção, é fundamental que questões como o bem-estar das aves e as mudanças climáticas sejam consideradas. A preocupação dos consumidores em relação ao modo como os animais são criados e abatidos pode afetar diretamente as exportações, uma vez que, países como os da União Europeia contam com a elaboração de legislação específica referente ao bem-estar. Além disso, existe a tendência de se consumir apenas carne com garantia e controle de todas as etapas do processo produtivo.

O entendimento dos aspectos termodinâmicos que envolvem os animais é um fator de importância técnica nos dias atuais, pois devido às mudanças climáticas, torna-se fundamental uma maior ênfase para estudos relacionados à *“Ambiência das Construções Rurais”* e ao *“bem-estar”* desses animais, usando dessa forma o aprimoramento, desenvolvimento e utilização de técnicas que melhorem a eficiência dos sistemas de produção. A necessidade de estudar os aspectos fisiológicos das aves é inerente aos avanços do melhoramento genético, sendo este um processo contínuo e dinâmico.

Para aliar o bem-estar térmico com a avaliação do estado de conforto ou estresse dos animais de produção, é fundamental o desenvolvimento de técnicas de mensuração não invasivas, de fácil aplicabilidade tanto no meio científico quanto no meio produtivo.

O mapeamento da temperatura corpórea superficial surge como um método não invasivo e inovador, pela correlação com outras variáveis fisiológicas das aves, como frequência respiratória e temperatura cloacal. Com os avanços da tecnologia da informação e dos equipamentos disponíveis para estudos mais aprofundados da

ciência animal, destaca-se a tecnologia do infravermelho, que tem contribuído para a obtenção de grandes informações sobre o balanço de calor bem como as perdas de calor durante todo o sistema produtivo.

Por meio dessa técnica poder-se-á determinar uma metodologia de avaliação para as linhagens disponíveis no mercado, estabelecendo uma avaliação em tempo real das exigências térmicas dos animais e as possíveis adaptações que devem ser realizadas para a manutenção do potencial produtivo. Associado a isso, o uso da modelagem matemática é uma ferramenta fundamental, na predição de parâmetros, evitando medidas invasivas nos animais.

Muitos dados e informações existentes sobre as exigências dos animais são oriundos de pesquisas e modelos realizadas no passado, com animais com características bem diferentes dos atuais em função do constante melhoramento genético. Dessa forma, seguindo uma nova linha de pesquisa desenvolvida junto ao NUPEA/ESALQ (Núcleo de Pesquisa em Ambiência), julgou-se importante a contribuição, para a comunidade científica, realizar trabalhos na aplicação dessa técnica em animais, dando continuidade a esses estudos para as condições tropicais e para as nossas linhagens. A aplicação das técnicas de infravermelho poderá contribuir para o desenvolvimento de novas tomadas de decisão em função do bem estar animal e das trocas térmicas ocorridas entre o animal e o meio, em tempos de aquecimento global evidentes.

Baseando-se nas considerações realizadas anteriormente, o objetivo principal desta pesquisa foi avaliar o comportamento térmico de diferentes linhagens de frangos de corte submetidas a condições de conforto e estresse durante o ciclo de produção (42 dias). Os objetivos específicos foram:

identificar de parâmetros fisiológicos para diferentes linhagens de frangos de corte submetidas a condições de conforto e estresse;

determinar de modelos de predição da temperatura superficial corpórea média de frangos de corte;

efetuar o balanço e avaliar do perfil das trocas de calor em frangos de corte submetidos a condição de conforto e estresse.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Bem estar animal

Um aumento significativo da produção animal nas próximas décadas é a tendência para países em desenvolvimento como o Brasil, o que acarreta sistemas de criação cada vez mais intensivos (LIN et al., 2006). A expansão do setor avícola no Brasil resultou na adoção do sistema de criação em alta densidade, chegando a alojar de 18 a 20 aves por metro quadrado. Este aumento no número de aves nas granjas diminuiu os custos de produção, melhorou a produtividade por área e permitiu um melhor aproveitamento das instalações (MOURA, 2001). No entanto, as questões relacionadas ao bem-estar dos animais em condições intensivas vêm assumindo um papel cada vez mais importante no contexto da produção mundial (ALVES, 2006).

Atualmente adota-se uma densidade de alojamento em média de 12 aves/ m<sup>2</sup>, porém existe a necessidade de pesquisas sobre os efeitos do alojamento nos parâmetros fisiológicos (PEREIRA, 2007; FURLAN, 2006). Quanto às exigências de bem-estar animal no mercado externo, existe cada vez mais a preocupação dos consumidores em relação ao manejo adotado nas granjas, principalmente nos países desenvolvidos como a União Europeia.

O termo bem-estar se refere ao estado de um indivíduo em relação às tentativas de ajuste ao ambiente no qual ele se encontra inserido. Deve ser considerado que os animais de produção têm necessidades comportamentais específicas e são capazes de alterar seu comportamento para se adaptarem ao ambiente em que vivem (BROOM, 1991; BROOM E MOLENTO, 2004). Molento (2005) ressalta que alterações fisiológicas ou comportamentais são indicativos de comprometimento do estado de bem-estar dos animais de produção.

Uma definição de bem-estar bastante utilizada atualmente foi estabelecida pelo relatório de Brambell (1965), e revisado pelo Conselho de Bem-Estar de Animais do Reino Unido - Farm Animal Welfare Council (FAWC, 1992), mediante o reconhecimento das cinco liberdades inerentes aos animais: a liberdade fisiológica (ausência de fome e de sede); a liberdade sanitária (ausência de doenças e de fraturas, pela prevenção ou

diagnóstico eficiente e tratamento adequado); a liberdade comportamental (possibilidade de exprimir comportamentos normais, pelo fornecimento de espaço suficiente, instalações adequadas e companhia de animais da mesma espécie); a liberdade psicológica (ausência de medo e de ansiedade, assegurando condições que evitem o sofrimento mental); a liberdade ambiental (pelo fornecimento de edificações adaptadas, com abrigo e área disponível para descanso).

Essas liberdades atuam na avaliação de quão distantes práticas adotadas numa determinada atividade produtiva estão do padrão do mais alto grau de bem-estar (MOLENTO, 2005). Porém, atualmente diversas discussões acerca da viabilidade de se atingir as cinco liberdades em um sistema de produção animal intensiva estão sendo realizadas. Além disso, questiona-se o caráter utópico das mesmas, uma vez que, nos atuais sistemas de produção, torna-se praticamente inviável o atendimento de todas as liberdades.

A partir disso, diversas instituições e organizações não-governamentais surgiram com o intuito de conciliar os interesses da sociedade com as demandas de mercado, através do monitoramento dos produtos. Como exemplo, a *Welfare Quality* e a *Global Animal Partnership*, instituições que atuam na implementação de melhorias do bem-estar nas propriedades e padronização de práticas de manejo, tornando os produtos acessíveis ao mercado europeu.

O frango de corte, como outros animais domésticos que sofreram uma seleção genética, apresenta razoável capacidade de se proteger do calor intenso no início do ciclo de vida, mas, a partir dos 14 dias de vida, demonstra um melhor potencial de termorregulação para reagir ao frio, em decorrência da maturidade do aparelho termorregulatório. Por isso, em ambientes onde a temperatura é crítica para a ave, torna-se importante reduzir a carga térmica por meio dos sistemas de controle.

Quando um animal é colocado em um determinado ambiente, as trocas térmicas que ocorrem com ele dependem das condições em que ambos se encontram. Se o ambiente apresenta temperaturas mais elevadas do que aquelas nas quais o organismo opera melhor, então há uma condição de estresse térmico, ocasionando perdas produtivas e de energia (SILVA, 2000).

Devido a razões éticas ou às mudanças que poderão ser impostas a produtores e consumidores, algumas pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento de metodologias que possam mensurar o bem-estar dos animais (PEREA et al., 1997; AKSIT et al., 2006; LIN et al., 2006; ALVES, 2007). As avaliações podem ser feitas por meio de medidas fisiológicas, como por exemplo, o aumento da frequência cardíaca, bem como o aumento da atividade adrenal e da diminuição da resposta imunológica após algum desafio, que podem indicar uma diminuição do bem-estar. Também pode ser quantificado por mensurações comportamentais que também possuem valor fundamental na avaliação do bem-estar (BROOM E MOLENTO, 2004). Atualmente, as pesquisas tendem para a utilização de métodos não-invasivos que atuem como indicadores do bem-estar dos animais (BORGES, 2008; STEWART et al., 2008).

Como técnicas não invasivas, pode-se citar desde procedimentos para avaliação endócrina, por novas metodologias em que se adotam a extração de metabólitos de esteróides excretados nas fezes ou na urina (PIZZUTTO et al., 2008), estudos com vocalização e sua associação com enfermidades (RISI, 2010), e de ruídos emitidos por um grupo de animais e a relação com as variáveis ambientais (BORGES, 2008); pela relação da temperatura superficial e outros parâmetros não invasivos, como a associação da termografia com temperatura ocular em bovinos (STEWART et al., 2008); relação da temperatura superficial e variáveis ambientais (RICHARDS, 1971; SHINDER et al., 2007; YAHAV et al., 2004).

Diversas técnicas diretas e indiretas são conhecidas para mensurar a condição de estresse em aves, destacando que todas as respostas ocorrem devido à ativação da glândula adrenal (PEREA et al., 1997). As técnicas de mensuração direta são aquelas relacionadas com aspectos comportamentais, e pela dosagem do hormônio adenocorticotrófico (ACTH). As medidas indiretas são caracterizadas por dosagens sanguíneas dos hormônios glucagon (hormônio do estresse) e pelos parâmetros produtivos que sofrem influência de fatores da própria ave e também do ambiente.

Outras técnicas para amenizar os efeitos estressores ambientais nos animais estão relacionadas ao manejo alimentar (LIN et al., 2006). A suplementação de vitaminas e minerais pode ser utilizada para que as aves mantenham o nível desejado

de consumo alimentar, assim como o balanço eletrolítico ideal para que não haja perdas produtivas.

Considerando-se o aumento da produção em países de clima tropical, algumas características genéticas são importantes em programas de melhoramento genético. Diversos estudos sobre o gene pescoço pelado (*naked neck*), e sua relação com o estresse térmico e bem-estar de frangos de corte foram realizados. Os resultados indicaram que aves com este gene apresentaram uma maior resistência ao estresse térmico (CAHANER et al., 1993; YAHAV et al., 1998; SILVA et al., 2001).

Para pintos de corte, a termotolerância tem sido estudada, ou seja, o quanto que a exposição prévia das aves a temperaturas extremas no início de vida influencia a resistência ao estresse térmico no decorrer do ciclo produtivo (SHINDER et al., 2007). Para frangos de corte, as exigências térmicas e relações de termoneutralidade são diferentes para cada semana do período de criação, sendo fundamental o estudo do bem-estar térmico dos animais. Os animais são expostos a fatores físicos e comportamentais de estresse, e seus efeitos na imunidade das aves dependem da intensidade e da duração destes fatores (PEREA et al., 1997).

## **2.2 Balanço de calor em frangos de corte**

A temperatura corporal de um animal refere-se à quantidade de energia térmica estocada por unidade de massa corporal. Essa energia pode ser aumentada ou diminuída pelos processos de termogênese e termólise, respectivamente. Nesses processos estão envolvidos mecanismos comportamentais, autônomos e adaptativos (SILVA, 2000).

As aves, por serem animais homeotermos, mantêm os níveis de energia térmica corporal dentro de limites estreitos (SILVA, 2001; BUENO, 2004). O calor corporal é oriundo de processos metabólicos, envolvidos nas mais diversas funções orgânicas. Relacionado ao metabolismo, os animais ganham calor devido à energia de manutenção, bem como por meio da realização de exercícios, pelo crescimento e pela alimentação. Todavia, uma parte da energia térmica pode ser proveniente do ambiente.



As trocas térmicas com o meio são realizadas por quatro componentes principais: radiação, condução e convecção, denominadas trocas sensíveis, e através da evaporação, que constitui um dos mais importantes mecanismos latentes de troca térmica dos animais (SILVA, 2008). As trocas latentes ocorrem devido a um diferencial de pressão de vapor (MAIA et al., 2005a). No caso das aves, a troca por evaporação ocorre na forma da ofegação (resfriamento evaporativo respiratório), uma vez que a ausência de glândulas sudoríparas impossibilita a sudação.

As trocas sensíveis são caracterizadas por um diferencial de temperatura entre o animal e o meio ambiente. A condução é a transferência de energia de partículas mais energéticas de uma substância para as menos energéticas adjacentes, como um resultado da interação entre as partículas. A convecção é caracterizada pela transferência de energia de uma superfície sólida e o líquido ou gás adjacente em movimento, envolvendo os efeitos combinados de condução e movimento do fluido. A radiação é a transferência de energia térmica sob a forma de ondas eletromagnéticas ou fótons (ÇENGEL E BOLES, 2007).

As perdas de calor ocorrem pelos meios sensíveis, e em condições agudas de estresse, pelas formas latentes de troca térmica com o meio. A ave elimina calor do metabolismo através da eliminação das excretas (fezes + urina), conforme pode ser visto na figura 1.

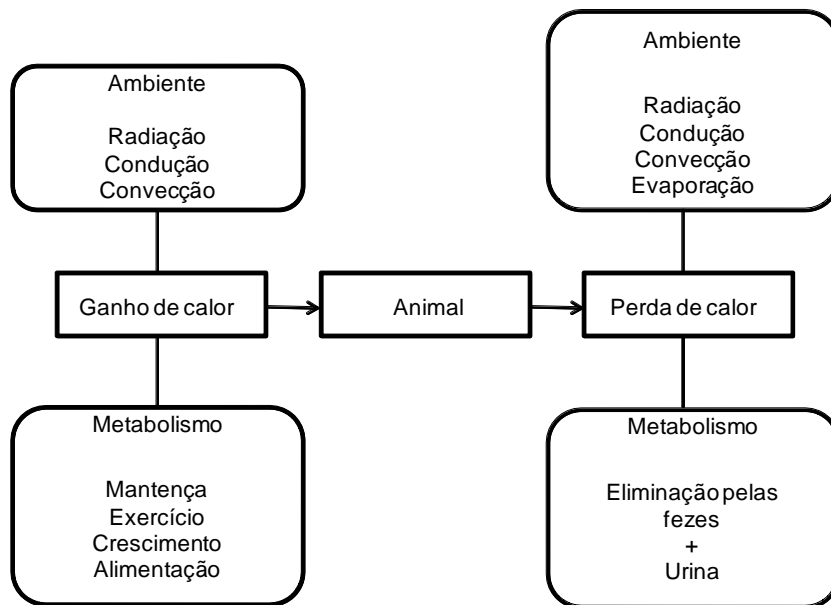


Figura 1 - Mecanismos de perda e ganho de calor das aves  
Fonte: Adaptado de Fuquay, 1997

De maneira geral, as perdas de calor nas aves são controladas por meio da alteração do fluxo sanguíneo na superfície corporal, ou alterando a taxa de evaporação na pele e no trato respiratório (RICHARDS, 1971). A superfície corporal das aves é caracterizada pela presença de uma camada de penas, que têm maior importância quando as aves estão expostas a situação de frio. Portanto, a atividade vasomotora na pele coberta com penas é mínima e essas regiões podem ser caracterizadas como vasorregulatórias conservadoras (RICHARDS, 1971; SHINDER et al., 2007). As áreas desprovidas de penas, tais como as pernas, são fundamentais no processo termorregulatório, assim como as regiões corporais altamente vascularizadas como crista e barbela.

A epiderme das aves não fica completamente úmida, mas deve-se ressaltar que ela é altamente permeável tanto ao vapor quanto aos fluidos procedentes dos tecidos abaixo dela (SILVA, 2001). Portanto, sempre existe uma quantidade de umidade a ser evaporada, caracterizando o fenômeno da perspiração insensível, com poucas pesquisas desenvolvidas quanto ao estudo da taxa de termólise por evaporação cutânea (INGRAM, 1974; RICHARDS, 1976; GENÇ E PORTIER, 2005).

Na avicultura de corte, a produtividade ideal é alcançada quando as aves estão submetidas a uma condição ambiental que favorece trocas mínimas de energia para a manutenção do equilíbrio térmico. Quando a combinação dos fatores térmicos ultrapassa os limites da faixa de conforto (zona termoneutra), a habilidade de dissipar calor dos animais é diminuída.

A característica mais utilizada pelos pesquisadores na determinação da faixa de termoneutralidade das aves de corte é a idade das mesmas (MOURA, 2001). O pinto recém-nascido, por exemplo, possui uma grande relação entre área e volume corporal, o que acarreta em dificuldades para reter calor corporal. Além disso, sua capacidade termorregulatória ainda não se encontra bem desenvolvida até os 10 a 15 dias após o nascimento. As faixas de temperaturas ótimas e críticas para cada semana de criação de frangos de corte, bem como as umidades relativas ótimas e críticas foram citadas por Curtis (1983); Yousef (1985); Timmons e Gates (1988); Fabrício (1994); Macari e Furlan (2001).

Devido à troca contínua de energia com o ambiente, tornam-se fundamentais alguns ajustes fisiológicos na tentativa de manter o balanço de calor dos animais estável (BUENO, 2004). As penas e penugem nas aves têm um papel fundamental no balanço térmico entre o organismo e o ambiente, acarretando peculiaridades na regulação do equilíbrio térmico. Elas interferem diretamente na eficiência da radiação, da convecção e da condução como mecanismos de eliminação de calor, mas em ambientes tropicais o diferencial de temperatura entre o ambiente e a superfície do corpo dos animais tende a ser pequeno (MALHEIROS et al., 2000; SILVA, 2001) .

No entanto, quando a temperatura do ar se aproxima ou se iguala à temperatura superficial corporal, o resfriamento evaporativo se torna a única via de perda de calor (SILVA, 2001; RICHARDS, 1971). Qualquer mudança da evaporação para uma perda de calor sensível pode reduzir a energia de manutenção e, com isso, aumentar a quantidade de energia disponível para o crescimento (YAHAV et al., 2004).

As aves realizam o balanço de energia corporal pela redução da produção de calor, aumentando a perda de calor por evaporação. Neste contexto, a ofegação é a principal via para a perda de calor sob elevadas temperaturas ou aumentando a perda de calor sensível por convecção e radiação, e ainda pela combinação de ambos. A ofegação tem um custo energético mais elevado em relação à perda por calor sensível, afetando o equilíbrio ácido-base e o balanço de água do organismo, o que afeta a capacidade de manter a temperatura corporal numa faixa considerada ideal (BORGES et al., 2003).

No geral, deve-se considerar que as trocas sensíveis devem ser maximizadas, quando comparadas com as trocas latentes, uma vez que representam um menor custo energético e metabólico. A maximização das perdas sensíveis também pode ser fundamental para a prevenção de hipertermia decorrente da desidratação, que ocorre após um período de ofegação intensa das aves (YAHAV et al., 2004). As estratégias de climatização devem ser voltadas a permitir a existência de um diferencial de temperatura entre a superfície do animal e o ambiente.

Uma das principais dificuldades para a quantificação da perda de calor sensível é devido à incapacidade de se medir precisamente a distribuição da temperatura na superfície corporal da ave e para diferenciar as contribuições das diferentes regiões da

superfície do corpo para a perda de calor (YAHAV et al., 2004; SHINDER et al., 2007). Assim, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas nesta área, pois ao contrário dos achados científicos anteriores, a temperatura hipotalâmica não é a única responsável pelos processos de termorregulação. A eficiência da homeostase também é função da temperatura do ambiente, da temperatura da epiderme e das temperaturas das diferentes partes do corpo (SILVA, 2008).

### **2.2.1 Cálculo das trocas sensíveis**

A taxa de transferência de calor por meios sensíveis é calculada pelo somatório das trocas por radiação (de ondas longas) e convecção. As trocas por condução são consideradas desprezíveis, por representarem uma percentagem insignificante do total (YAHAV et al., 2004).

As trocas sensíveis ocorrem devido ao diferencial de temperatura entre a superfície corporal do animal e a temperatura do ambiente, e também em função da resistência da camada limite às trocas por convecção e radiação.

Conforme sugerido por Prandtl (1904), citado por Schlichting (1979), a camada limite corresponde a uma camada de ar adjacente à superfície. Qualquer objeto (ou um animal) envolto pela atmosfera, cuja temperatura seja menor que a temperatura superficial do objeto em estudo, apresenta uma porção superficial de ar que está em contato direto com o objeto, adquirindo dessa maneira uma temperatura mais próxima da superfície do que da atmosfera circundante (SILVA, 2001).

Turnpenny et al. (2000) descrevem as trocas sensíveis analogamente à lei de Ohm, em que as resistências de transferência de calor por convecção e radiação podem ser caracterizadas por uma resistência equivalente, definida como  $r_o$ , conforme descrito por Maia et al. (2005b).

A resistência da camada limite às trocas por convecção é calculada em função de características do ar e também em função da área superficial do animal, por uma relação entre densidade e calor específico do ar e diâmetro corporal e a condutividade térmica do ar e número de Nusselt.

O número de Nusselt (Nu) é obtido por meio de fórmulas específicas para cada caso. No caso das aves, é calculado considerando-as como uma esfera. Ele serve como uma base para a comparação das taxas de transferência térmica por convecção de objetos semelhantes, com dimensões diferentes e expostos a velocidades do vento distintas (SILVA, 2000). Portanto, o número de Nusselt é calculado através da relação entre os números de Prandtl (Pr) e Reynolds (Re), para situações em que a convecção é forçada. Para aves, o número de Nusselt é obtido por uma equação descrita por Wathes e Clarks (1981a), em função do número de Reynolds.

O número de Reynolds expressa a relação das forças inerciais em um fluido, o que ocasiona mudanças na velocidade do mesmo, com sua viscosidade, que atua contra as variações de velocidade (SILVA, 2000).

A resistência da camada limite às trocas por radiação também ocorre em função de características do ar (densidade e calor específico), bem como da emissividade do corpo, no caso das aves, de 0,94, da constante de Stefan-Boltzmann e da média entre a temperatura corporal e a temperatura radiante média (MALHEIROS et al., 2000).

Em diversos trabalhos, calcularam-se as trocas por radiação em função da emissividade do corpo, da constante de Stefan-Boltzmann, da diferença entre as temperaturas da superfície corporal e do ar (elevadas à quarta potência) e da área superficial do corpo, baseado no modelo de Monteith e Unsworth (1990) (MALHEIROS et al., 2000; YAHAV et al., 2004; SHINDER et al., 2007).

Porém, a inconsistência da adoção deste modelo está no fato de que essa equação é indicada para o cálculo das trocas por radiação entre superfícies planas de grandes dimensões. Além disso, uma dessas superfícies apresenta uma emissividade igual ou próxima a um. Outro aspecto relevante que esse modelo também não leva em consideração é a resistência da camada limite às trocas por radiação, o que discorda do proposto por McArthur, 1987; Silva, 2000; Turnpenny et al., 2000.

## **2.2.2 Cálculo das trocas latentes**

Nas aves, a presença de penugem e penas dificulta as trocas de calor por meios latentes através da superfície cutânea. Soma-se a isso a ausência de glândulas sudoríparas, o que torna a evaporação respiratória a mais importante via de trocas de

calor. Essas trocas se tornam mais significativas à medida que a temperatura ambiental atinja valores próximos da temperatura corporal, por meio do aumento da frequência respiratória.

Silva (2001) ressaltou que existem poucas pesquisas sobre o funcionamento da termólise evaporativa cutânea em aves. A energia térmica eliminada por meio da evaporação respiratória pode ser estimada por meio de equações que levam em consideração as massas de vapor de água inspirado e expirado por unidade de tempo, a taxa de ventilação pulmonar, a temperatura interna dos pulmões, além de características do ar.

Esses modelos possuem pouca aplicabilidade nas pesquisas, devido à elevada complexidade para realizar a mensuração da temperatura interna dos pulmões. Diversos modelos empíricos foram desenvolvidos para uma estimativa das trocas evaporativas em aves (HUTCHINSON, 1954; Comissão Internationale Du Génie Rural - CIGR, 1984). A equação proposta por Hutchinson (1954) prediz o fluxo de trocas evaporatórias utilizando variáveis como temperatura do núcleo corporal e a pressão de vapor do ambiente. A temperatura cloacal pode ser utilizada como um parâmetro para a temperatura do núcleo corporal (RICHARDS, 1971; ANDERSSON E JÓNASSON, 1996).

### **2.3 Temperatura Cloacal**

A temperatura cloacal é considerada uma medida que representa a temperatura do núcleo corporal, podendo ser utilizada como um bom indicador da condição de conforto ou estresse calórico dos animais. Além disso, também pode servir para avaliar o grau de adaptabilidade dos animais a um determinado ambiente ou condição (BROWN-BRANDTL, 2003).

Portanto, variações na temperatura interna dos animais atuam como um indicativo de alterações fisiológicas, mais especificamente como uma tentativa de aumentar a dissipação de calor para a periferia corporal.

Com a crescente preocupação em relação ao bem-estar dos animais, questionamentos acerca de métodos invasivos são feitos (ALVES et al., 2007). Com

isso, a mensuração da temperatura retal (ou cloacal, no caso das aves) pode ser um método ineficaz de mensuração, uma vez que para sua obtenção, é necessária a manipulação dos animais, causando por diversas vezes, situações de elevado estresse para os mesmos.

Algumas alternativas têm sido propostas, como por exemplo, pelo desenvolvimento de técnicas que permitem a verificação e monitoramento da temperatura do núcleo corpóreo. Sondas foram testadas, como um método não-invasivo, mas seu uso em aves é limitado, pois os movimentos delas são restritos, podendo ocorrer falhas de mensuração (BROWN-BRANDTL et al., 2003). Outro método seria o uso de sensores, como o desenvolvido por Green et al. (2008) para monitoramento da temperatura interna de eqüinos, mas essa técnica, além de não ter sua eficiência e praticidade comprovada, exige manipulação dos animais, o que acaba caracterizando-a como invasiva.

Métodos alternativos e menos onerosos necessitam ser desenvolvidos, como por exemplo, pela predição de modelos relacionando a temperatura superficial com a temperatura cloacal. Sabe-se que a superfície corporal sofre alterações de temperaturas mais rapidamente, devido à dissipação do fluxo sanguíneo por convecção, o que permite a tomada de decisões instantâneas (CARVALHO et al., 2004).

Outra questão importante a ser estudada é a variação da temperatura cloacal ao longo do ciclo de criação, para condições de estresse térmico e de conforto, pela estipulação de faixas que possam ser adotadas como parâmetros para cada uma das semanas do ciclo. Na literatura, existem diversas indicações de temperatura cloacal ideal para frangos de corte, mas em sua maioria, adota-se um único valor para todo o ciclo. Elson (1995) e Meltzer (1987) consideram como faixa normal entre 41° e 42°C; Macari e Furlan (2001) afirmam que 41,1°C caracteriza uma condição de conforto para frangos de corte. Silva et al. (2007) adotaram 46,3°C como o máximo valor para frangos aos 42 dias, temperatura esta, que, ao ser atingida, levou os animais a óbito.

## 2.4 Frequência Respiratória

A frequência respiratória também é considerada um parâmetro fisiológico importante na caracterização da condição de conforto ou estresse dos animais (ABBI SAAB e SLEIMAN, 1995; SANTOS et al., 2006). O aumento dessa variável indica o uso de mecanismos evaporativos de trocas de calor pelos animais, o que caracteriza desconforto calórico.

Sob elevadas temperaturas e umidade relativa, as aves apresentam alcalose respiratória, o que compromete a velocidade de crescimento dos animais (YAHAV et al., 1995).

A verificação deste parâmetro é apenas visual, o que facilita sua mensuração e consequente tomada de decisão. Para frangos de corte, existem na literatura diversas indicações a respeito da frequência respiratória ideal para o ciclo de criação em condição de conforto, cujos valores variam desde 20 mov.min<sup>-1</sup> (SWICK, 1998) a 83 mov.min<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2001), para frangos na sexta semana de criação. Pesquisa como a de MARCHINI et al., 2007 estipulou faixas para frequência respiratória para frangos de corte até os 42 dias de idade, em condições de estresse ou termoneutralidade, o que ressalta também a carência de faixas para cada uma das semanas de criação, para aves criadas nas condições tropicais, que possam ser facilmente adotadas como padrão para frangos de corte.

## 2.5 Temperatura Superficial Corpórea

Vários estudos foram realizados com o intuito de utilizar a temperatura superficial corpórea na avaliação das condições de estresse e conforto em aves (MALHEIROS et al., 2000; TESSIER et al., 2003; PEREIRA, 2007; YAHAV et al., 2004). Richards (1971) propôs um modelo para o cálculo da temperatura média da pele das aves (TSM), eq. (1), e também para a predição da temperatura corporal média (TCM), eq. (2):

$$TSM = (0,12.Tasa) + (0,03.Tcabeça) + (0,15.Tpata) + (0,70.Tdorso) \quad (1)$$



$$TCM = (0,3.TSM) + (0,7.Tcloacal) \quad (2)$$

Richards (1971) propôs esse modelo estudando três regiões com penas (dorso, asa e coxa) e três regiões desprovidas de penas (dedo, pata e crista), e atribuiu pesos para cada região, de acordo com a área superficial de cada uma delas. As regiões corporais mais significativas foram a asa, cabeça, pata e dorso, com seus respectivos pesos descritos pela eq. (1).

No entanto, deve-se ressaltar que se trata de uma regressão linear simples, estipulada em um experimento com apenas 14 aves adultas na década de 1970, ou seja, cuja genética é bastante distinta da adotada nos dias atuais. Outra ressalva é que se adota essa mesma equação para todas as semanas de criação de frangos de corte. Portanto, é fundamental um estudo sobre se essa equação ainda representa efetivamente a temperatura superficial corpórea média para as linhagens de frangos de corte atuais, e se os pesos de cada uma das regiões corporais variam para cada uma das seis semanas do ciclo produtivo. Além disso, diversos aspectos fisiológicos das aves, como curva de crescimento e adaptação ao calor são variáveis, reforçando a importância de pesquisas visando comprovar a eficiência do modelo.

Sob condições de estresse térmico, é possível a associação da variação da temperatura corporal com a ofegação. Outros fatores relevantes da temperatura corporal referem-se às variações com a idade e com o horário do dia (ciclo circadiano) das aves (TESSIER et al., 2003).

## **2.6 Radiação de Infravermelho**

A partir da década de 1950, no pós-guerra, ocorreu a liberação de dados acumulados nas pesquisas militares, o que possibilitou que uma nova série de detectores e técnicas de imageamento ficassem disponíveis para aplicação em sistemas infravermelhos de uso civil.

Energia infravermelha é uma luz que não é visível porque seu comprimento de onda é muito longo para ser detectado pelo olho humano. Ela faz parte do espectro eletromagnético que percebemos sob a forma de calor. Todo corpo, cuja temperatura

seja superior ao zero absoluto emite calor, em maior ou menor intensidade, até mesmo corpos muito frios, como cubos de gelo, emitem infravermelho. Quanto maior for a temperatura do objeto, maior será a radiação infravermelha emitida.

O infravermelho pode ser utilizado em diversas técnicas não invasivas de diagnóstico instantâneo, com elevada precisão e confiabilidade, e tem como principais vantagens a facilidade em medir a temperatura de objetos móveis, distantes e de difícil acesso; não interfere no comportamento do elemento a ser mensurado, devido a não necessidade de contato; facilidade para a medição em vários objetos simultaneamente; tempo rápido de resposta, o que permite capturar fenômenos transitórios de temperatura (CORTIZO et al., 2008).

A técnica é amplamente utilizada em diversas áreas, como na inspeção de falhas elétricas e mecânicas, em operações militares, no processamento de produtos como plásticos, na estética e na veterinária. O infravermelho tem sido utilizado na área médica e veterinária há mais de 50 anos, pela correlação entre padrões de temperatura e condições físicas, principalmente para a detecção de lesões inflamatórias (Ju et al, 2004). Mais recentemente, a técnica tem sido abordada pela área de Bioclimatologia, no estudo das trocas de calor entre o ambiente e os animais, a fim de se estudar seu comportamento frente às diferentes condições climáticas (TESSIER et al., 2003; YAHAV et al., 2004; SOUZA, et al., 2008).

Quanto ao uso da termografia, a aplicação é considerada difícil em aves, pois as penas possuem boa propriedade isolante, bloqueando a maior parte das emissões de infravermelho da pele. Todavia, a contribuição das penas que se renovam no animal é útil para a estimativa da temperatura média corporal, podendo ser corrigida numericamente ao excluir os pixels correspondentes nos cálculos (TESSIER et al., 2003).

O infravermelho tem sido aplicado em aves de pescoço pelado submetidas a diferentes temperaturas ambientais e em pesquisas sobre os efeitos de estresse térmico e métodos de resfriamento (YAHAV et al., 1998; COOK et al., 2006). Tessier et al. (2003) sugeriram que a termografia pode ser adaptada para estudos experimentais em frangos de corte e pode ser muito útil para estudar a variação temporal da temperatura corporal relacionada a lesões causadas por celulite.

Termômetros infravermelhos podem ser utilizados na medição de temperatura superficial de animais, sendo uma ferramenta útil na aplicação de técnicas não invasivas. Seu funcionamento é baseado na lei de Steffan-Boltzman, uma vez que suas propriedades ópticas detectam a energia emitida, refletida e transmitida coletada, concentrada em um visor. O sinal é convertido em temperatura, exibida no visor do termômetro (FLUKE Corporation, 2007).

## REFERÊNCIAS

ABBI SAAB, S.; SLEIMAN, F. T. Physiological responses to stress of filial crosses compared to local Awassi sheep. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v.16, n.1, p. 55-59, 1995.

AKSIT, M.; YALÇIN, S.; OZKAN, S.; METIN, K.; OZDEMIR, D. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. **Poultry Science**, Champaign, n. 85, p. 1867-1874, 2006.

ALVES, S.P. **Uso da zootecnia de precisão na avaliação do bem-estar bioclimático de aves poedeiras em diferentes sistemas de criação**. 2006. 128 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ALVES, S.P.; SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M.S. Avaliação do bem-estar de poedeiras comerciais: efeitos dos sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, n. 5, v. 36, p. 1388-1394, 2007.

ANDERSSON, B.E.; JÓNASSON, H. Temperature regulation and environment physiology. In: SWENSON, M.J.; REECE, W.O. (Ed.). **Duke’s physiology of domestic animals**. 11<sup>th</sup> ed. New York: Ithaca, 1993. p. 886-895.

BORGES, G. **Utilização da pressão sonora (ruído) como indicativo de bem-estar animal na produção industrial de suínos**. 2008. 139p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BORGES, S.A.; MAIORKA, A.; SILVA, A.V.F. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p. 975-981, 2003.

BROOM, D.M. Animal Welfare: Concepts and Measurements. **Journal of Animal Science**, Stanford, n. 69, p. 4167 – 4175, 1991.

BROOM, D.M.; MOLENTO, C.F.M. Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas (revisão). **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, n.2, v.9, p. 1-11, 2004.

BROWN-BRANDL, T.M.; YANAGI, T. Jr.; XIN, H.; GATES, R.S.; BUCKLIN, R.A.; ROSS, G.S. A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 19, n.5, p. 583-589, 2003.

BUENO, L.G.F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frangos de corte**. 2004. 100p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CAHANER, A.; DEEB, N.; GUTMAN, M. Effects of plumage-reducing naked neck (Na) gene on the performance of fast growing broilers at normal and high ambient temperatures. **Poultry Science**, Champaign, v. 72, p. 767-775, 1993.

CARVALHO, L.E.; OLIVEIRA, S.M. P.; TURCO, S.H.N. Utilização da nebulização e ventilação forçada sobre o desempenho e a temperatura da pele de suínos em fase de terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.6, p. 1486-1491, 2004.

ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. Energy, energy transfer and general energy analysis. In: \_\_\_\_\_. **Thermodynamics – An Engineering Approach**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2007. chap. 2, p 77-136.

COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **Climatization of Animal Houses**. CIGR report of working group. Scottish Farm Building Investigation Unit, Aberdeen, 1984. 80p.

COOK, N.J.; SMYKOT, A.B.; HOLM, D.E.; FASENKO, G.; CHURCH, J.S. Assessing Feather cover of laying hens by infrared thermography. **The Journal of Applied Poultry Research**, Savoy, v. 15, n.2, p. 274-279, 2006.

CORTIZO, E.C.; BARBOSA, M.P.; SOUZA, L.A.C. Estado da arte da termografia. **Fórum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio sustentável**, Belo Horizonte, v.2, n.2, p. 158-193, 2008.

CURTIS, S.E. **Environmental management in animal agriculture**. Ames: The Iowa State University Press, 1983. 410 p.

ELSON, H.A. Environmental Factors and Reproduction. In: AUSTIC, R. E; MALDEN C. NESHEIM (Ed). **Poultry Production**, Philadelphia : Lea & Febiger, 1995. p. 389-409.

FABRÍCIO, J.R. Influência do estresse calórico no rendimento da criação de frango de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 1994, São Paulo. **Anais...** Campinas: FACTA, 1994. p.129-133.

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL – **FAWC: Five Freedoms**. Disponível em: <<http://www.fawc.org.uk/freedoms.htm>>. Acesso em: 01 ago. 2007.

FLUKE CORPORATION. **566/ 568 Manual do Usuário**. Disponível em: <<http://www.fluke.com.br/fluke/BRPT/Term%C3%B3metros/Fluke-568-566.htm?PID=56090>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

FUQUAY, J.W. Heat Stress as It Affects Animal Production. **Livestock Environment**, Iowa, v.2, p.1133-1137, 1997.

FURLAN, R.L. Influência da Temperatura na Produção de Frangos de Corte. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, 8, 2006. Chapecó. **Anais...** Chapecó, 2006. 1 CD ROM

GENÇ, L.; PORTIER, K.M. Sensible and latent heat productions from broilers in laboratory conditions. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Science**, Ankara, v. 29, p. 635-643, 2005.

GREEN, A.R.; GATES, R.S.; LAURENCE, L.M.; WHEELER, E.F. Continuous recording reliability analysis of three monitoring systems for horse core temperature. **Computers and Electronics in Agriculture**, Davis, v. 61, p.88-95, 2008.

HUTCHINSON, J.C.D. Evaporative cooling in fowls. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 45, p. 48-59, 1954.

INGRAM, D.L. Heat loss and its control in pigs. In: MONTEITH, J. L.; MOUNT, L. E. (Ed.). **Heat loss from animals and man**. London: Butterworths, 1974. p. 233-254.

JU, X., NEBEL, J., SIEBERT, J.P. 3D Thermography Imaging Standardization Technique for Inflammation Diagnosis. In: PHOTONICS ASIA, 2004, Beijing. **Proceedings of SPIE**. Beijing: SPIE, 2004. V.5640-5646. p. 8-12.

LIN, H.; JIAO, H.C.; BUYSE, J.; DECUYPERE, E. Strategies for preventing heat stress in poultry. **World's Poultry Society Journal**, Cambridge, v. 62, p.71-86, 2006.

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.2, p. 31-87.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 49, p. 332-336, 2005a.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 50, p. 17-22, 2005b.

MALHEIROS, R.D.; MORAES, V.M.B.; BRUNO, L.D.G.; MALHEIROS, E.B.; FURLAN, R.L.; MACARI, M. Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch. **Journal of Applied Poultry Science**, Stanford, v.9, p. 111-117, 2000.

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; TAVARES, M. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v.12, n.1, p. 41-46, 2007.

McARTHUR, A.J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, n. 126, p.203–238, 1987.

MELTZER, A. Acclimatization to ambient temperature and its nutritional consequences. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 43, p. 33-44, 1987.

MOLENTO, C.F.M. Bem-estar e produção animal: Aspectos econômicos – revisão. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, n.1, v.10, p. 1-11, 2005.

MONTHEITH, J. L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. 2<sup>nd</sup> ed. London: Arnold, 1990. 291p.

MOURA, D.J. Ambiência na Produção de Aves de Corte. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na Produção de Aves em Clima Tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 2, p. 75 – 149.

PEREA, A.T.; ISAÍAS, G.T.; MALDONADO, F.G. Técnicas de medición de estrés en aves. **Veterinaria México**, Cidade do México, n.4, v.28, p. 345-351, 1997.

PEREIRA, C.L. **Avaliação do conforto térmico e do desempenho de frangos de corte confinados em galpões avícolas com diferentes tipos de coberturas**. 2007. 113p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

PIZZUTTO, C.S.; SGAI, M.G.F.G.; VIAU, P.; CHELINI, M.O.M.; OLIVEIRA, C.A.; GUIMARÃES, M.A.B.V. Validação laboratorial e fisiológica de conjunto comercial para a quantificação de corticóides fecais em chimpanzé (*Pan troglodytes*) e orangotango (*Pongo pygmaeus*), cativos e submetidos a enriquecimentos ambientais. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, São Paulo, v. 45, suplemento, p. 104-110, 2008.

RICHARDS, S.A. Evaporative water loss in domestic fowls and its partition in relation to ambient temperature. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 87, p. 527–532, 1976.

RICHARDS, S.A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 216, p. 1-10, 1971.

RISI, N. **Uso da vocalização como indicador patológico em leitões na fase de maternidade**. 2010. 95p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SANTOS, J.R.S.; SOUZA, B.B.; SOUZA, W.H.; CEZAR, M.F.; TAVARES, G.P. Respostas fisiológicas e gradientes térmicos de ovinos das raças Santa Inês, Morada Nova e de seus cruzamentos com a raça Dorper às condições do semi-árido nordestino. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.30, n.5, p. 995-1001, 2006.

SCHLICHTING, H. **Boundary-layer theory**. 7<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 1979. 817p.

SHINDER, D.; RUSAL, M.; TANNY, J.; DRUYAN, S.; YAHAV, S. Thermoregulatory responses of chicks (*Gallus domesticus*) to low ambient temperatures at an early age. **Poultry Science**, Champaign, n. 86, p. 2200-2209, 2007.

SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M.S.; MARTINS, E.; COELHO, A.A.D.; SAVINO, V. J. M. Resistência ao estresse calórico em frangos de pescoço pelado. **Revista Brasileira de Ciências Avícolas**, Campinas, n.1, v.3, p. 27-33, 2001.

SILVA, M.A.N.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, C.J.M.; SILVA, I.J.O.; COELHO, A.D.; SAVINO, J.M. Avaliação do estresse térmico em condição simulada de transporte de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.4, p.1126 - 1130, 2007 (supl).

SILVA, R.G. Trocas térmicas em aves. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na Produção de Aves em Clima Tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 3, p. 88 – 124.

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

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SOUZA, B.B.; SOUZA, E.D.; CEZAR, M.F.; SOUZA, W.H.; SANTOS, J.R.S.; BENICIO, T.M.A. Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no semi-árido nordestino. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.32, n.1, p. 275-280, 2008.

STEWART, M.; WEBSTER, J.R.; SCHAEFER, A.L.; STAFFORD, K.J. Infrared thermography and heart rate variability for non-invasive assessment of animal welfare. **Australian and New Zealand Council for the Care of Animals in Research and Teaching News**, Wellington, n.1, v.21, p. 1-4, 2008.

SWICK, R.A. Broiler management in warm climates. **American Soybean Association Technical Bulletin**, Singapore, v.P040, p.1-5, 1998.

TESSIER, M.; TREMBLAY, D.D.; KLOPFENSTEIN, C.; BEAUCHAMP, G.; BOULIANNE, M. Abdominal Skin Temperature Variation in Healthy Broiler Chickens as Determined by Thermography. **Poultry Science**, Champaign, n. 82, p. 846 – 849, 2003.

TIMMONS, M.B.; GATES, R.S. A predictive model of laying hens performance to air temperature and evaporative cooling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n. 5, p. 1503-1509, Set./Out. 1988.

TURNPENNY, J.R.; McARHTUR, A.J.; CLARK, J. A.; WATHES, C.M. Thermal balance of livestock, 1. A parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.101, p. 15-27, 2000.

WATHES, C.M.; CLARK, J.A. Sensible heat transfer from the fowl: boundary-layer resistance of a model fowl. **British Poultry Science**, Abingdon, v.22, p.161–173, 1981.

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**, Champaign, n. 83, p. 253 – 258, 2004.

YAHAV, S.; LUGER D.; CAHANER A.; DOTAN M.; RUSAL M.; HURWITZ S. Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures. **British Poultry Science**, Abingdon, n. 39, p. 133–138, 1998.

YAHAV, S.; GOLDFELD, S.; PLAVNIK, I.; HURWITZ, S. Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.20, n.3, p. 245-253, 1995.

YOUSEF, M.K. Stress Physiology in Livestock. **Poultry Science**, Boca Raton, v. 3, p. 159, 1985.



### 3 IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS PARA DIFERENTES LINHAGENS DE FRANGOS DE CORTE SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE CONFORTO E ESTRESSE

#### Resumo

A condição de bem-estar térmico de frangos de corte pode ser mensurada por meio das variáveis fisiológicas dos animais. Dentre elas, a frequência respiratória (FR) e a temperatura cloacal ( $T_{clo}$ ) servem como parâmetro para avaliação e comparação da tolerância ao estresse térmico das linhagens de aves utilizadas comercialmente. Além disso, são variáveis de fácil mensuração. Existem na literatura diversas indicações sobre os valores ideais de FR e  $T_{clo}$  para frangos de corte. Porém, a maioria delas refere-se ao ciclo como um todo, sem considerar as alterações fisiológicas e, conseqüentemente, necessidades térmicas distintas das aves durante o decorrer do ciclo produtivo. Com isso, os objetivos deste trabalho foram: determinar para diferentes linhagens as faixas ideais de frequência respiratória e temperatura cloacal, submetidas a condições de conforto e estresse, durante o ciclo de produção de frangos de corte; avaliar a influência do tempo de exposição nas respostas fisiológicas das aves de corte de diferentes linhagens sob diferentes condições de estresse térmico. O experimento foi realizado em câmara climática, com duas linhagens comerciais (Avian e Cobb), durante as seis semanas do ciclo de criação, sendo as aves expostas a duas condições climáticas (conforto e estresse), em três tempos distintos de exposição, em três condições (antes da câmara; no final da exposição ao tratamento; 30 minutos após o fim da exposição), a quatro tratamentos: conforto com 60 minutos de exposição (C60); estresse com 30 minutos de exposição (E30); estresse com 60 minutos de exposição (E60); estresse com 90 minutos de exposição (E90). Adotou-se um delineamento experimental em quadrado latino 4 x 4 (4 tratamentos x 4 lotes de aves). Foi possível a elaboração de faixas de conforto e estresse térmico da FR e da  $T_{clo}$  para ambas as linhagens, para cada semana de vida. As linhagens diferiram entre si, independentemente dos tratamentos e condições adotados na terceira, quinta e sexta semanas para FR e na sexta semana para  $T_{clo}$ . Portanto, com base nos dados fisiológicos, pode-se afirmar que a linhagem Cobb é mais tolerante ao estresse térmico em relação à Avian. Houve diferença para ambas as variáveis entre a condição de conforto e estresse, mas o tempo de exposição ao estresse não influenciou as respostas fisiológicas das aves, exceto para  $T_{clo}$  na segunda semana do ciclo.

Palavras-chave: Avicultura; Frequência respiratória; Temperatura cloacal

## IDENTIFICATION OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS TO DIFFERENT BROILER CHICKEN STRAINS SUBMITTED TO COMFORT AND STRESS SITUATIONS

### Abstract

Thermal welfare condition of broiler chickens can be measured by their physiological variables. Among them, respiration rate (RR) and cloacal temperature ( $T_{clo}$ ) can be used as a parameter to the assessment and comparison of thermal stress tolerance from broiler strains used commercially. Beside this, they are variables of easy assessment. In the literature, there are diverse indications among ideal values of RR and  $T_{clo}$  to broiler chickens. However, most of them refer to all lifecycle, without considering physiological alterations, and consequently, distinct thermal requirements of birds during growing period. Therewith, the objectives of this work were: settle to different strains, ideal bands of respiration rate and cloacal temperature, submitted to comfort and stress situations, during the lifecycle of broiler chickens; to assess the influence of exposure time in the physiological responses of broiler chickens from different strains under diverse conditions of thermal stress. Experiment was done in climatic chamber, with two commercial strains (Avian and Cobb), during the six weeks of lifecycle of broilers, and the birds were exposed to two climatic conditions (comfort and stress), in three different times of exposure, in three conditions (before going to the chamber; in the final of exposure to treatment; 30 minutes after the end of exposure) to four treatments: comfort with 60 minutes of exposure (C60); stress with 30 minutes of exposure (E30); stress with 60 minutes of exposure (E60); stress with 90 minutes of exposure (E90). A 4 x 4 latin square was adopted as experimental design (4 treatments x 4 lots of birds). It was possible to elaborate comfort and thermal stress bands to RR and  $T_{clo}$  to both strains, to each week of life. Strains differed among them, independently of treatments and conditions adopted on third, fifth and sixth week to RR and on the sixth week to  $T_{clo}$ . Therefore, based on physiological data, it is possible to affirm that Cobb strain is more tolerant to thermal stress compared to Avian strain. There were difference to both variables among comfort and stress conditions, but exposure time did not influence physiological responses of birds, except to  $T_{clo}$  in the second week of lifecycle.

Keywords: Poultry; Respiration rate; Cloacal temperature

### 3.1 Introdução

Um dos parâmetros utilizados na mensuração da condição ideal de conforto térmico dos animais refere-se às variáveis fisiológicas. Sua alteração é um indicativo de tentativas de manutenção da homeotermia e, conseqüentemente, se o animal se encontra ou não em situações de estresse e desequilíbrio térmico.

Frequência respiratória e temperatura cloacal são variáveis amplamente utilizadas e consideradas as mais simples, para avaliação da condição fisiológica dos animais (BIANCA e KUNZ, 1978; EIGENBERG et al., 2000; MATOS et al., 2009). A frequência respiratória é uma variável de fácil mensuração, através de análise visual; e a segunda, mensurada por meio de termômetros clínicos de mercúrio (BARBOSA FILHO, 2004; DAHLKE et al., 2005; MATOS et al., 2009), ou por meio de *dataloggers* eletrônicos (BROWN-BRANDTL et al., 2003), que se caracterizam pelo uso de sondas. Os autores ressaltam que o uso de sondas em frangos de corte é de difícil aplicação, pois além de seu uso ser restrito apenas por alguns dias sem causar inflamação, sua aplicação dificulta o movimento das aves.

As variações desses dois parâmetros estão diretamente relacionadas com alterações nas condições ambientais nas quais os animais se encontram. Sob condições de conforto, ambas se encontram estáveis, sendo que a frequência respiratória mantém-se estável, mas na literatura existem diversas indicações quanto a seus valores ideais. Aliado a isso, soma-se o fato de que as características fisiológicas dos frangos se alteram no decorrer do ciclo.

E a maioria dos autores define uma única faixa ideal de FR para todo o ciclo, de 20 mov.min<sup>-1</sup> (SWICK, 1998), 25 mov.min<sup>-1</sup> (KASSIM E SYKES, 1982), e de 40 mov.min<sup>-1</sup> (HOFFMAN E VOLKER, 1969). Silva et al. (2001) relataram uma média de 83 mov.min<sup>-1</sup> para frangos de corte aos 42 dias em condição termoneutra. Em recente estudo, Marchini et al. (2007) definiram faixas de FR para frangos de corte em cada uma das semanas do ciclo de criação, variando desde 48 mov.min<sup>-1</sup> na 1ª semana, a 57, 52, 47, 44 e 42 mov.min<sup>-1</sup> para as demais semanas.

Esse fato reforça a necessidade de se realizar estudos para inferir faixas ideais da frequência respiratória para uma condição de conforto. O mesmo pode ser afirmado

para condições de estresse calórico. O frango de corte apresenta necessidades térmicas diferenciadas durante as semanas do ciclo de criação (MOURA, 2001, MACARI et al., 2002), e sua susceptibilidade ao estresse por calor aumenta com o aumento da idade das aves. Por exemplo, na primeira semana de vida, a temperatura ideal de conforto é de 35°C; para a sexta semana, no entanto, esse valor é de 22,5 °C (MACARI e FURLAN, 2001), e os mesmos 35°C representam uma condição de estresse calórico para essa fase final de produção.

Sob elevadas temperaturas, os frangos apresentam um aumento significativo de sua frequência respiratória, sendo encontrados na literatura valores de 165 movimentos por minuto, para frangos aos 42 dias de idade (SILVA et al., 2007), e de no máximo 90 movimentos por minuto para aves na primeira semana de vida (MARCHINI et al., 2007). Portanto, para o estresse calórico também é necessária a definição de faixas para as linhagens utilizadas comercialmente em nossas condições tropicais nas diferentes semanas de criação.

O mesmo aplica-se à temperatura cloacal, cuja variação indica que as trocas de calor superficiais na pele não estão sendo mais suficientes para manutenção da homeotermia. Na literatura também existem diversas indicações sobre o valor ideal para frangos de corte, estando entre 41°C e 42°C para uma condição de conforto (MELTZER, 1987; ELSON, 1995), e valores de até 46°C para condições de estresse térmico aos 42 dias (SILVA et al., 2007). Macari e Furlan (2001) citam que acima de 41,1°C já caracteriza uma condição de estresse térmico. Marchini et al. (2007) relataram valores de 39,9°C para frangos no primeiro dia de vida e de 41,2°C aos 42 dias, em condição termoneutra.

Outro fato bastante interessante é a capacidade das aves entrarem e saírem de uma situação de estresse térmico. Alterações na FR e temperatura cloacal são notórias em aves sob condições de estresse. Porém, em função do tempo de exposição ao estresse e das características da ave, como idade e outros fatores, esses animais podem retornar à condição inicial de pré-estresse ou mesmo chegarem a óbito. Embora as pesquisas relatem esses efeitos, há necessidade de se estabelecer faixas ideais de correspondência entre o tempo de exposição a uma determinada condição de estresse

ou de conforto, para as diferentes semanas do ciclo de criação, sem acarretar perdas produtivas.

Baseado nas informações acima descritas, **os objetivos do presente trabalho foram:**

- **determinar para diferentes linhagens as faixas ideais de frequência respiratória e temperatura cloacal, submetidas a condições de conforto e estresse, durante o ciclo de produção de frangos de corte;**
- **avaliar a influência do tempo de exposição nas respostas fisiológicas das aves de corte de diferentes linhagens sob diferentes condições de estresse térmico.**

### 3.2 Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em câmara climática nas dependências do Núcleo de Pesquisa em Ambiente (NUPEA), junto ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP.

O organograma geral da pesquisa pode ser observado na figura 2 abaixo. Utilizaram-se duas linhagens comerciais (Cobb e Avian), expostas a duas condições climáticas (conforto e estresse), durante três tempos distintos de exposição (30, 60 e 90 minutos). As variáveis respostas foram frequência respiratória (FR) e temperatura cloacal (Tclo).

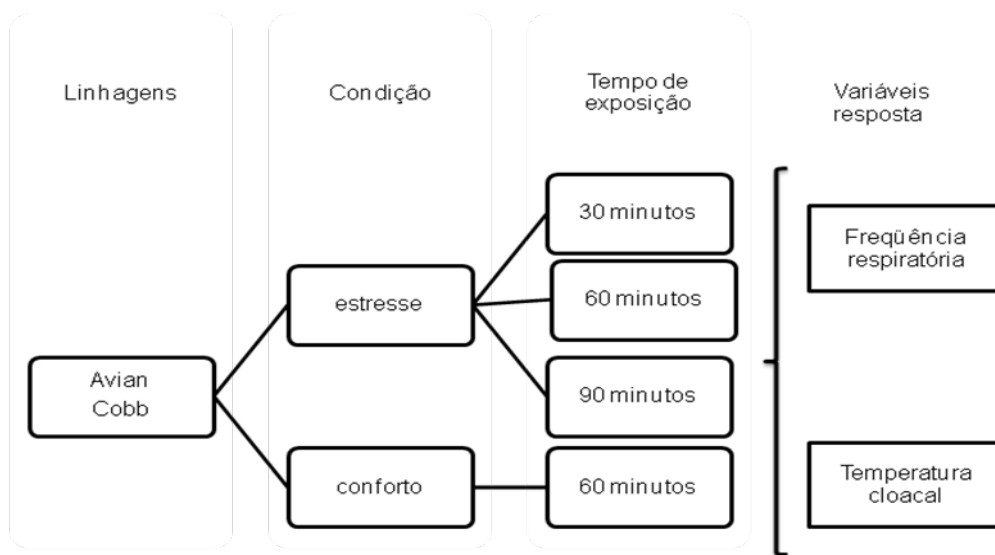


Figura 2 - Organograma geral da pesquisa

#### 3.2.1 Aves

Foram utilizadas semanalmente 96 aves, totalizando 584, divididas em quatro lotes de 24 animais, sendo 12 aves de cada linhagem (como unidade experimental). Em cada semana de criação, foram analisados os quatro primeiros dias, de modo que todas as aves fossem submetidas a todos os tratamentos. Dessa forma, pode-se considerar que foram realizados seis experimentos distintos ao longo deste trabalho.

As aves, com peso inicial médio de 50,7g e 50g, para as linhagens Avian e Cobb, respectivamente, foram distribuídas em boxes, com 1m<sup>2</sup>, adotando-se uma densidade de 12 aves/m<sup>2</sup>, conforme a figura 3b. Os boxes foram instalados dentro da câmara

climática, com dimensões de 2,25x3,75m, totalizando uma área de piso de 8,5m<sup>2</sup>, como pode ser observado na figura 3a.

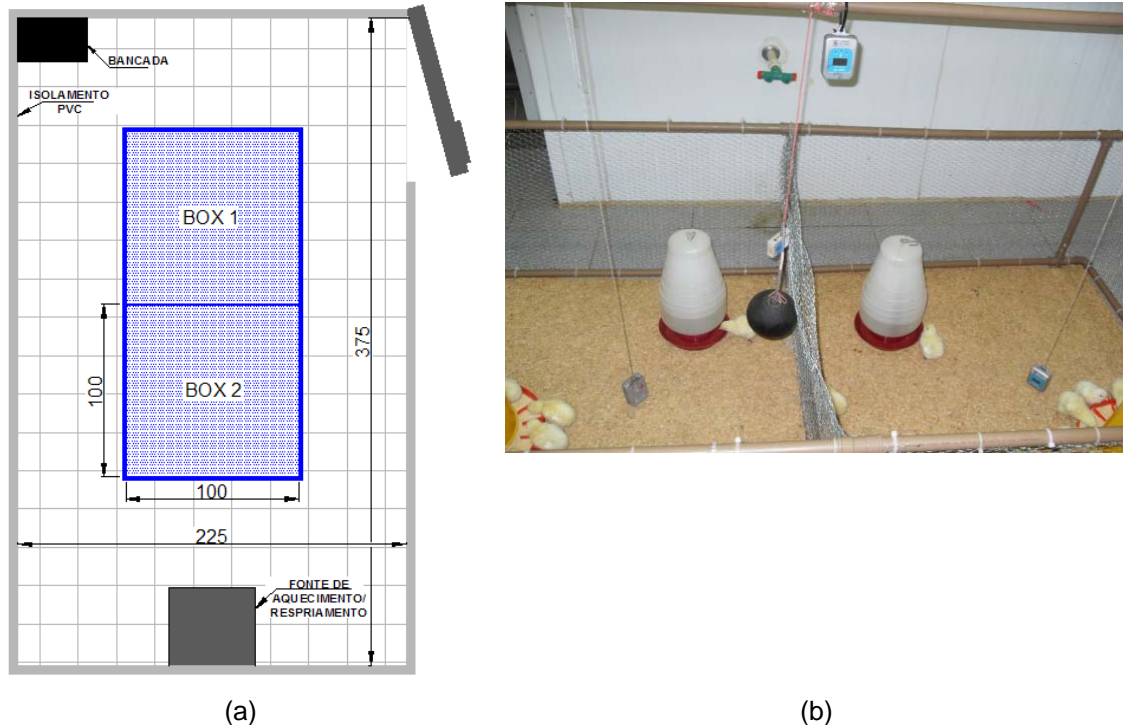


Figura 3 - (a) Croqui da vista horizontal da câmara climática e (b) vista da distribuição dos boxes experimentais

Os lotes foram homogêneos e mistos, com os animais distribuídos de maneira aleatória para cada um dos lotes estudados. A identificação das aves foi realizada por anilhas coloridas.

Durante o ciclo de produção, as aves foram criadas em um galpão convencional, localizado no Departamento de Genética da ESALQ/ USP, e foram transferidas para a câmara climática apenas nos dias de avaliação, com água e ração *ad libitum*.

### 3.2.2 Condições climáticas

O estabelecimento das faixas das condições de conforto e estresse para cada semana de criação foi baseado nas informações propostas por Macari e Furlan (2001), de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 - Limites teóricos propostos pela literatura para condições de conforto e estresse térmico para frangos de corte, para cada semana de criação

Idade	Temperatura °C				Umidade Relativa	
	Ótima		Crítica		Ótima	Crítica
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima		
1ª semana	35	33	42	30		
2ª semana	33	30	40	25		
3ª semana	30	27	38	23	60	<40 e >80
4ª semana	27	24	37	20		
5ª semana	25	21	36	17		
6ª semana	24	21	35	15		

Fonte: Macari e Furlan (2001)

Baseando-se nessas informações, foram pré-determinadas as condições experimentais de conforto e estresse para cada semana de criação, considerando o controle da câmara climática, o que pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 - Faixas limites das condições experimentais para frangos de corte, utilizadas na pesquisa, em ambiente controlado

Ciclo de produção (semana)	Condição de conforto		Condição de estresse	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
1	34	60	30	80
2	31,5	60	25	80
3	28,5	60	38	80
4	25,5	60	37	80
5	23	60	36	80
6	22,5	60	35	80



### 3.2.3 Controle do ambiente experimental – Câmara climática

Dentro da câmara climática foram realizadas aferições para obtenção da temperatura de globo negro, temperatura e umidade relativa do ar, descritas a seguir.

**Temperatura de globo negro:** Foi instalado um termômetro de Globo Negro, entre os dois boxes experimentais, a 30 cm de altura, acoplado a um *datalogger* da marca HOBO® para registro da temperatura em intervalos de 10 minutos.

**Temperatura e Umidade relativa do ambiente:** Foram utilizados sensores automáticos da marca HOBO® (tipo *dataloggers*) de temperatura e umidade relativa, com leitura a cada 10 minutos.

**Velocidade do vento:** Foi utilizado um ventilador com uma velocidade constante de  $0,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante todo o período experimental, na altura das aves.

### 3.2.4 Controle do ambiente de criação – Galpão experimental

Para o controle do ambiente de criação das aves, no galpão experimental, foi realizado o registro em intervalos de 30 minutos das seguintes variáveis: Temperatura de globo negro (Tg), Temperatura de bulbo seco (Ts) e Umidade relativa (UR) do ambiente.

### 3.2.5 Delineamento Experimental

A exposição das aves às diferentes condições foi realizada em diferentes tempos de permanência à condição estudada, visto que o tempo de exposição ao estresse influencia a sensação térmica do animal e, conseqüentemente, nas suas respostas fisiológicas (SILVA et al., 2007). O tempo de exposição ao estresse foi baseado no trabalho de Yanagi Jr. et al. (2001), que consideraram 20 minutos o tempo mínimo de exposição, presumindo ser tempo suficiente para que as aves adquiram estabilidade dos processos termorregulatórios, e no trabalho de Silva et al. (2007), que observaram

que, após 30 minutos de exposição a altas temperaturas e umidade relativa, frangos de corte aos 42 dias apresentaram um aumento dos parâmetros fisiológicos, indicando desequilíbrio e estresse térmico.

Baseando-se nessas considerações, foram pré-estabelecidos os seguintes tratamentos para cada semana de produção:

- Tratamento Conforto com 60 minutos de exposição – C60;
- Tratamento Estresse com 30 minutos de exposição – E30;
- Tratamento Estresse com 60 minutos de exposição – E60;
- Tratamento Estresse com 90 minutos de exposição – E90.

De acordo com a proposta da pesquisa, o planejamento experimental para cada semana do ciclo de produção das aves pode ser observado nas tabelas 3 a 8.

Tabela 3 - Condições experimentais para frangos de corte na primeira semana de criação

Dia	Lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I	conforto - 34°C, 60% UR	60
	II	estresse - 30°C, 80% UR	30
	III	estresse - 30°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 30°C, 80% UR	90
2	I	estresse - 30°C, 80% UR	30
	II	conforto - 34°C, 60% UR	60
	III	estresse - 30°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 30°C, 80% UR	90
3	I	estresse - 30°C, 80% UR	60
	II	estresse - 30°C, 80% UR	90
	III	conforto - 34°C, 60% UR	60
	IV	estresse - 30°C, 80% UR	30
4	I	estresse - 30°C, 80% UR	90
	II	estresse - 30°C, 80% UR	60
	III	estresse - 30°C, 80% UR	30
	IV	conforto - 34°C, 60% UR	60

Tabela 4 - Condições experimentais para frangos de corte na segunda semana de criação

Dia	Lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
	II	estresse - 25°C, 80% UR	30
	III	estresse - 25°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 25°C, 80% UR	90
2	I	estresse - 25°C, 80% UR	30
	II	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
	III	estresse - 25°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 25°C, 80% UR	90
3	I	estresse - 25°C, 80% UR	60
	II	estresse - 25°C, 80% UR	90
	III	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
	IV	estresse - 25°C, 80% UR	30
4	I	estresse - 25°C, 80% UR	90
	II	estresse - 25°C, 80% UR	60
	III	estresse - 25°C, 80% UR	30
	IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60

Tabela 5 - Condições experimentais para frangos de corte na terceira semana de criação

Dia	lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I	conforto - 28,5°C, 60% UR	60
	II	estresse - 38°C, 80% UR	30
	III	estresse - 38°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 38°C, 80% UR	90
2	I	estresse - 38°C, 80% UR	30
	II	conforto - 28,5°C, 60% UR	60
	III	estresse - 38°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 38°C, 80% UR	90
3	I	estresse - 38°C, 80% UR	60
	II	estresse - 38°C, 80% UR	90
	III	conforto - 28,5°C, 60% UR	60
	IV	estresse - 38°C, 80% UR	30
4	I	estresse - 38°C, 80% UR	90
	II	estresse - 38°C, 80% UR	60
	III	estresse - 38°C, 80% UR	30
	IV	conforto - 28,5°C, 60% UR	60

Tabela 6 - Condições experimentais para frangos de corte na quarta semana de criação

Dia	lote	Condição	Tempo de exposição (min)
		(tratamento)	
1	I	conforto - 25,5°C, 60% UR	60
	II	estresse - 37°C, 80% UR	30
	III	estresse - 37°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 37°C, 80% UR	90
2	I	estresse - 37°C, 80% UR	30
	II	conforto - 25,5°C, 60% UR	60
	III	estresse - 37°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 37°C, 80% UR	90
3	I	estresse - 37°C, 80% UR	60
	II	estresse - 37°C, 80% UR	90
	III	conforto - 25,5°C, 60% UR	60
	IV	estresse - 37°C, 80% UR	30
4	I	estresse - 37°C, 80% UR	90
	II	estresse - 37°C, 80% UR	60
	III	estresse - 37°C, 80% UR	30
	IV	conforto - 25,5°C, 60% UR	60

Tabela 7 - Condições experimentais para frangos de corte na quinta semana de criação

dia	lote	Condição	Tempo de exposição (min)
		(tratamento)	
1	I	conforto - 23°C, 60% UR	60
	II	estresse - 36°C, 80% UR	30
	III	estresse - 36°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 36°C, 80% UR	90
2	I	estresse - 36°C, 80% UR	30
	II	conforto - 23°C, 60% UR	60
	III	estresse - 36°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 36°C, 80% UR	90
3	I	estresse - 36°C, 80% UR	60
	II	estresse - 36°C, 80% UR	90
	III	conforto - 23°C, 60% UR	60
	IV	estresse - 36°C, 80% UR	30
4	I	estresse - 36°C, 80% UR	90
	II	estresse - 36°C, 80% UR	60
	III	estresse - 36°C, 80% UR	30
	IV	conforto - 23°C, 60% UR	60

Tabela 8 - Condições experimentais para frangos de corte na sexta semana de criação

Dia	lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
	II	estresse - 35°C, 80% UR	30
	III	estresse - 35°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 35°C, 80% UR	90
2	I	estresse - 35°C, 80% UR	30
	II	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
	III	estresse - 35°C, 80% UR	60
	IV	estresse - 35°C, 80% UR	90
3	I	estresse - 35°C, 80% UR	60
	II	estresse - 35°C, 80% UR	90
	III	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
	IV	estresse - 35°C, 80% UR	30
4	I	estresse - 35°C, 80% UR	90
	II	estresse - 35°C, 80% UR	60
	III	estresse - 35°C, 80% UR	30
	IV	conforto - 22,5°C, 60% UR	60

Todos os tratamentos foram executados no mesmo dia, ou seja, cada lote foi submetido a um tratamento por dia. A distribuição dos animais dos lotes em cada tratamento avaliado pode ser visualizada na tabela 9, de acordo com o delineamento experimental adotado.

Tabela 9 - Quadrado latino 4 x 4 geral para as diferentes semanas de criação

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Lote I	E90	E60	C60	E30
Lote II	E60	E30	E90	C60
Lote III	E30	C60	E60	E90
Lote IV	C60	E90	E30	E60

Como nas seis semanas de criação existem condições distintas de conforto e estresse térmico, optou-se em adotar um delineamento experimental em quadrados latinos 4 x 4 (4 tratamentos x 4 lotes de aves), conforme a tabela 9 citado anteriormente e seguindo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijklmn} = \mu + g_i + d_j + t_k + r_{ijk} + l_m + tl_{km} + \delta_{ijkm} + c_n + tc_{kn} + lc_{mn} + tlc_{kmn} + \varepsilon_{ijklmn}$$

Onde:

$Y_{ijklmn}$  = é a n-ésima observação da temperatura cloacal e frequência respiratória avaliada no l-ésimo lote, no j-ésimo dia de coleta, no k-ésimo tratamento, na m-ésima linhagem, na n-ésima condição ambiental;

$g_i$  = efeito fixo do i-ésimo lote ( $i = 1, \dots, 4$ );

$d_j$  = efeito fixo do j-ésimo dia ( $j = 1, \dots, 4$ );

$t_k$  = efeito fixo do k-ésimo tratamento ( $k = C60, E30, E60, E90$ );

$r_{ijk}$  = erro aleatório referente aos lotes, dias e tratamentos;

$l_m$  = efeito fixo da m-ésima linhagem ( $m = Avian$  ou  $Cobb$ );

$tl_{km}$  = efeito da interação entre o k-ésimo tratamento com a m-ésima linhagem;

$\delta_{ijkm}$  = erro aleatório referente aos lotes, dias, tratamentos e linhagens e a interação entre tratamentos e linhagens;

$c_n$  = efeito fixo da n-ésima condição ambiental ( $n =$  coleta antes de entrar na câmara climática, coleta logo após sair da câmara climática e a coleta e 30 minutos após sair da câmara climática);

$tc_{kn}$  = efeito da interação entre o k-ésimo tratamento com a n-ésima condição ambiental;

$lc_{mn}$  = efeito da interação entre a m-ésima linhagem com a n-ésima condição ambiental;

$tlc_{kmn}$  = efeito da interação entre o k-ésimo tratamento com a m-ésima linhagem e com a n-ésima condição ambiental;

$\varepsilon_{ijklmn}$  = efeito residual, que inclui todas as demais fontes de variações não consideradas no modelo, além do erro de determinação;

$\mu$  = média paramétrica.

Os dados das variáveis fisiológicas foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento MIXED do software estatístico SAS<sup>®</sup> (SAS, 2009). Foi utilizado o LSMEANS para obtenção de médias ajustadas das variáveis, e efetuadas comparações pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), quando pertinente.

### 3.2.6 Variáveis respostas

Adotaram-se como variáveis respostas, aquelas utilizadas como parâmetros para a avaliação dos reflexos do estresse calórico nas aves, ou seja, aquelas que relacionam o animal e o ambiente.

**Temperatura cloacal – TC:** obtida pela introdução de um termômetro digital na cloaca das aves, até estabilização da leitura.

**Frequência respiratória – FR:** sua determinação foi pela contagem dos movimentos de ofegação das aves, durante 15 segundos, e posterior multiplicação por quatro, obtendo-se dessa forma o número de movimentos respiratórios por minuto.

### 3.3 Resultados e Discussão

Serão apresentados a seguir os resultados da pesquisa, referentes aos dados fisiológicos das aves, analisando-se as condições de conforto e estresse durante as seis semanas do ciclo de criação.

Na pesquisa estudaram-se as diferenças fisiológicas entre as linhagens Avian e Cobb ao longo das seis semanas de criação, baseando-se nas seguintes variáveis: frequência respiratória e temperatura cloacal.

Esse estudo foi realizado para verificar a existência ou não de padrões distintos de tolerância ao estresse. Também para verificar como são os padrões para as linhagens em condições de conforto térmico, uma vez que a comparação de parâmetros fisiológicos nessas linhagens utilizadas para condições tropicais é pouco explorada.

Adotou-se para o modelo uma significância de 5%, porém, para as interações entre as causas de variação, foi utilizada uma significância de até 10%.

#### 3.3.1 Frequência Respiratória

A frequência respiratória foi mensurada em todas as semanas de criação, em três condições: antes da entrada dos animais na câmara (condição 1); no fim do período experimental (condição 2) e após 30 minutos (condição 3), para verificar se 30 minutos é o tempo suficiente para que as aves retomem ao seu estado fisiológico inicial.

Para as semanas 1 e 2, não houve nenhuma diferença significativa ( $P > 0,05$ ) para nenhum dos efeitos ou interações do modelo, o que indica que nos primeiros 14 dias de vida, as aves apresentaram perfis semelhantes de FR. Isso indica que se pode considerar uma mesma faixa desta variável para ambas as linhagens. Portanto, os animais mantiveram estável sua condição respiratória.

Além disso, verifica-se que o tempo de exposição à condição de estresse não influenciou a resposta dos animais.

Na primeira semana, ambas as linhagens apresentaram uma média de 47  $\text{mov.min}^{-1}$ , e na segunda semana do ciclo uma média de 58  $\text{mov.min}^{-1}$  (Avian) e de 60  $\text{mov.min}^{-1}$  (Cobb). Esses dados estão de acordo com Marchini et al. (2007), que



estudaram dois grupos de aves Avian durante os 42 dias de vida. Adotaram um grupo estressado diariamente a uma temperatura ambiental cíclica, e o outro submetido a uma condição de termoneutralidade, e relataram valores médios de 48 e de 57 mov.min<sup>-1</sup> para a primeira e segunda semanas, respectivamente.

Os resultados até os 14 dias também corroboram Matos et al. (2009), que sob uma condição ambiental de 26° a 30°C de temperatura e umidade relativa entre 65 e 80%, verificaram uma média de 66 mov.min<sup>-1</sup> para aves da linhagem Cobb dos sete aos 21 dias de vida.

Mesmo tendo sido adotada uma condição de estresse pelo frio para esse período, observou-se que a resposta das aves (em relação a FR) não se alterou com os diferentes tempos de exposição, não apresentando diferença significativa. Porém, o efeito do estresse térmico a que as aves foram submetidas, poderá ser observado pelas outras variáveis fisiológicas utilizadas na avaliação dessa pesquisa.

No intervalo entre a 3ª e 6ª semanas de criação, observaram-se resultados significativos ( $P < 0,05$ ) para os tratamentos, condições pré e pós-estresse e para a interação entre tratamento e condição.

Na tabela 10 são apresentados os valores médios da frequência respiratória, (FR), nos quatro tratamentos (C60, E30, E60 e E90), nas três condições estudadas (C1, C2 e C3), e também as variações entre as condições estipuladas, sendo  $\Delta 1$  (condição 2 – condição 1) e  $\Delta 2$  (condição 3 – condição 2), a fim de verificar se os animais retornam ou não à sua condição inicial (possível termoneutralidade).

Para as semanas de 3 a 6, as aves, após a exposição de conforto, foram capazes de diminuir significativamente seus movimentos respiratórios. Para a semana 3, houve redução média de 22 mov.min<sup>-1</sup>, (equivalente a 27% de redução na FR); e de 13 (19% de redução), 0 (0% de redução) e 39 (43% de redução) mov.min<sup>-1</sup> na 4ª, 5ª e 6ª semanas, respectivamente. Além disso, verificou-se que a FR alterou-se significativamente ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos C60 e os de estresse térmico (E30, E60 e E90), sendo que para essas semanas, independente do tempo de exposição, houve aumento da FR, como era esperado.

Tabela 10 - Valores médios da frequência respiratória para a terceira, quinta e sexta semanas de criação, para os quatro tratamentos, para as três condições estudadas e seus respectivos deltas, para ambas as linhagens

Semana	Tratamento	C 1	C 2	C 3	$\Delta$ 1	$\Delta$ 2	$\Delta$ total
3	C60	81 Aa	59 Bb	80 Ba	-22	21	-1
	E30	80 Ab	137 Aa	89 Bb	57	-48	9
	E60	68 Ac	146 Aa	89 Bb	78	-57	21
	E90	75 Ac	151 Aa	102 Ab	76	-49	27
4	C60	69 Aa	56 Ba	57 Ba	-13	1	-12
	E30	63 Ab	138 Aa	68 Ab	75	-70	5
	E60	69 Ab	128 Aa	71 Ab	59	-57	2
	E90	63 Ab	137 Aa	76 Ab	74	-61	13
5	C60	51 Bb	51 Bb	84 Aa	0	33	33
	E30	58 Bb	100 Aa	72 Ab	42	-28	14
	E60	59 Bb	123 Aa	76 Ab	64	-47	17
	E90	85 Ab	114 Aa	56 Ab	29	-58	-29
6	C60	91 Aa	52 Ba	55 Ba	-39	3	-36
	E30	96 Aa	108 Aa	75 ABa	12	-33	-21
	E60	81 Aa	120 Aa	98 Aa	39	-22	17
	E90	62 Ab	123 Aa	80 AB b	61	-43	18

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Esses resultados apontam para o fato de que 30 minutos de exposição foi o suficiente para que as aves alterassem significativamente sua FR, corroborando Yanagi Jr. et al. (2001), que afirmam que 20 minutos é tempo suficiente para que os animais alterem seus mecanismos termorregulatórios, alterando sua condição fisiológica para tentar adaptar-se a um determinado ambiente.

Os resultados também estão de acordo com Silva et al. (2007), que ao simularem o transporte de frangos de corte aos 42 dias de idade, sob condições de estresse (35°C e 85% de UR), em diferentes tempos de exposição, (30, 60, 90 e 120 minutos), observaram alterações significativas na FR já nos primeiros trinta minutos de exposição.

Mas, Silva et al. (2007) observaram diferenças significativas entre os tempos de 30 e 60 minutos de exposição, porém, para a exposição de 90 e 120 minutos, não foi possível fazer uma mensuração visual de FR devido a esta ser bastante elevada. Esses resultados são contrários aos encontrados neste trabalho, uma vez que, não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos E30, E60 e E90 em nenhuma das semanas estudadas.

Zhou et al. (1999), analisaram frangos aos 70 dias de idade, sob uma temperatura de 30°C e observaram diferença significativa após 2 horas de exposição, sendo que as aves na primeira hora de exposição apresentaram uma média de 70 mov.min<sup>-1</sup>, atingindo 170 mov.min<sup>-1</sup> após 2 horas, que não diferiu estatisticamente dos 200 mov.min<sup>-1</sup> no fim da terceira hora.

Os dados ainda corroboram Medeiros et al. (2005), que ao estudarem aves dos 22 aos 42 dias de idade sob diversas temperaturas ambientais (20°, 32°, 26° e 36°C), verificaram valores de FR que variaram de 71 a 96 mov.min<sup>-1</sup> (32°C) a 120 mov.min<sup>-1</sup> (36°C); e também o trabalho de Souza et al. (2005), que relataram valores de 177 a 192 mov.min<sup>-1</sup> para frangos de corte dos 28 aos 49 dias, sob condição de estresse térmico.

Em relação ao tempo de retorno (C3), as aves nas 4ª e 6ª semanas conseguiram retornar a condição FR inicial (C1), mesmo após 90 minutos de exposição. Na sexta semana, verifica-se que as aves não diferiram estatisticamente os valores de FR entre C1, C2 e C3, para os tratamentos E30 e E60, possivelmente pela condição ambiental do laboratório já ser superior à de conforto, uma vez que não era controlado.

Na terceira semana, as aves só retornaram à condição inicial após o tratamento E30; para os tratamentos E60 e E90, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre C1, C2 e C3, isto é, apesar das aves conseguirem diminuir sua FR após a exposição ao estresse, em 30 minutos, este tempo não foi suficiente para que atingissem valores médios iguais estatisticamente a C1.

Este é um indicativo de que as 3ª, 5ª e 6ª semanas do ciclo de criação podem ser consideradas como as mais críticas, uma vez que houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as linhagens apenas nestas semanas, conforme pode ser visto na figura 4.

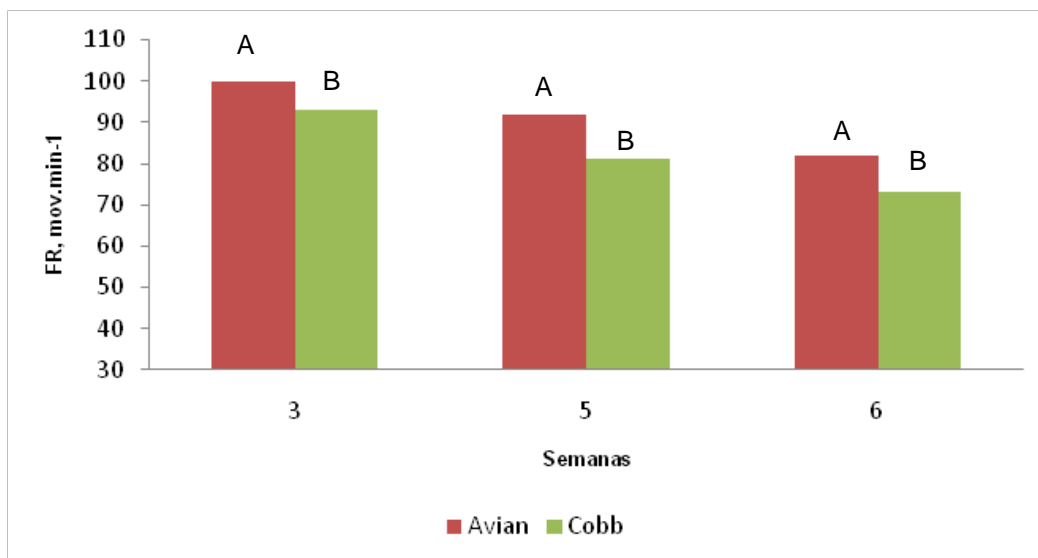


Figura 4 - FR média para as linhagens Avian e Cobb na 3ª, 5ª e 6ª semanas do ciclo de criação. Médias com letras diferentes indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Os resultados mostram que a linhagem Avian apresentou valores médios de FR superiores à Cobb. Ambas as linhagens são classificadas como de crescimento rápido, uma vez que podem ser abatidas antes dos 50 dias de idade (CARDOSO et al., 2006). Yahav et al. (1998) afirmam que linhagens que apresentam maiores valores para os parâmetros FR e temperatura cloacal, sob condições de estresse térmico, são menos tolerantes ao calor.

Portanto, baseando-se somente na FR, tem-se um indício da maior tolerância das aves Cobb ao calor. A importância desses resultados ainda situa-se no fato de que essas diferenças ocorreram nas semanas mais críticas para a produção de frangos de corte. Sabe-se que os animais apresentam um pleno desenvolvimento do aparelho termorregulatório após o 14º dia de idade, ou seja, uma maturação dos mecanismos termorregulatórios (MACARI E FURLAN, 2001; LIN et al., 2005), o que também resulta no aumento da tolerância ao frio, e uma maior sensibilidade ao calor.

Borges et al. (2003) ressaltam que um aumento na frequência respiratória provoca a alcalose respiratória, que é caracterizada por perdas excessivas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), por consequência reduz sua pressão parcial ( $p\text{CO}_2$ ), levando à queda na concentração de ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) e hidrogênio ( $\text{H}^+$ ). Em resposta, os rins aumentam a excreção de  $\text{HCO}_3^-$  e reduzem a excreção de  $\text{H}^+$  na tentativa de manter o equilíbrio ácido-base da ave. Isso afeta o balanço eletrolítico das aves, e

também ocorre um aumento do pH sanguíneo. Souza et al. (2002) citam que um aumento em até dez vezes da FR acarreta alcalose respiratória, comprometendo a performance zootécnica dos animais.

Nas últimas semanas do ciclo, perdas produtivas relacionadas aos efeitos do estresse térmico são bastante onerosas, pois, nessa fase já houve um alto investimento na produção (RYDER et al., 2004).

Na 5ª semana, a interação entre linhagem e condição foi significativa, e o seu desdobramento, com suas respectivas avaliações das médias, são apresentados na figura 5.

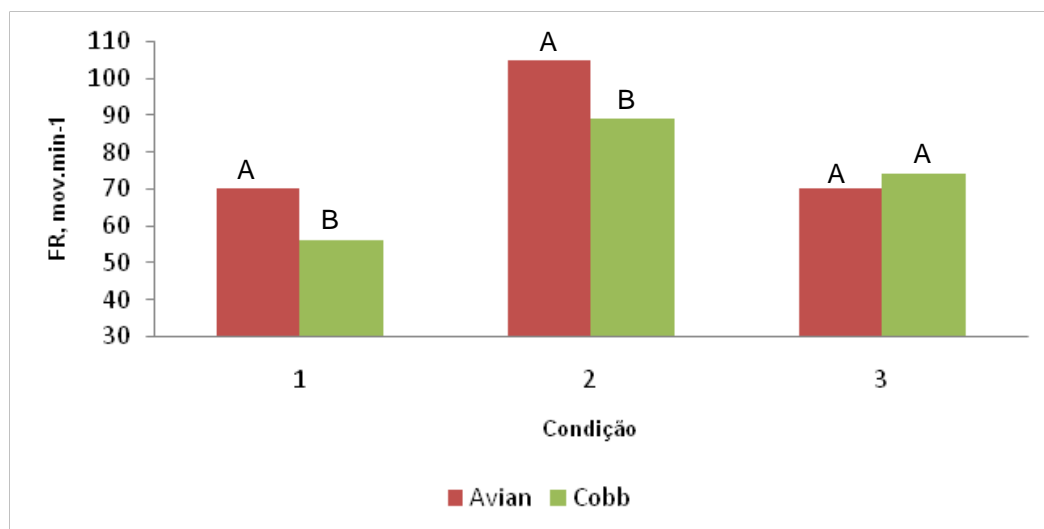


Figura 5 - Frequência respiratória das linhagens Avian e Cobb na quinta semana de criação, para as três condições experimentais. Médias com letras diferentes indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das condições pelo teste de Tukey

As linhagens diferiram ( $P < 0,05$ ) nas condições 1 e 2, sendo que para ambas a linhagem Cobb apresentou médias menores de FR, independente do tratamento, o que também sugere uma maior tolerância desta em relação à linhagem Avian.

Baseando-se nesses resultados e nas condições experimentais adotadas nesta pesquisa, foi possível elaborar faixas para valores de FR para cada uma das semanas de criação, para ambas as linhagens estudadas, conforme demonstrado pela tabela 11, para condições de conforto e estresse térmico, a seguir. E também, fazer uma comparação entre os diversos valores propostos na literatura para condição de conforto, conforme demonstrado pela tabela 12.

Para a FR as linhagens apresentam faixas semelhantes, pois essas foram baseadas na condição 2 da pesquisa, em que se tem certeza de que as aves estavam submetidas a uma situação de conforto ou estresse. As linhagens diferiram entre si ( $P < 0,05$ ) nas 3ª, 5ª e 6ª semanas, mas ressalta-se que essas diferenças referem-se a diferenças na FR como um todo, ou seja, englobando os efeitos dos tratamentos e condições estipuladas. Esses resultados acarretam numa menor tolerância ao calor da linhagem Avian em relação à Cobb, o que poderá ser corroborado com os dados de temperatura cloacal das aves.

Tabela 11 - Valores médios de FR recomendados para as seis semanas do ciclo de criação, em condições de conforto e estresse térmico para as linhagens Avian e Cobb

Semana do ciclo	Conforto FR (mov.min <sup>-1</sup> )		Estresse térmico FR (mov.min <sup>-1</sup> )	
	Avian	Cobb	Avian	Cobb
1	48	48	48	48
2	58	60	58	60
3	59	59	137 a 151	137 a 151
4	56	56	128 a 138	128 a 138
5	51	51	100 a 123	100 a 123
6	52	52	108 a 123	108 a 123

Tabela 12 - Faixas ideais de FR para o ciclo de produção de frangos de corte, em condição de conforto, descritas na literatura

Autores	FR (mov.min <sup>-1</sup> )					
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	50 a 60
Swick (1998)		█				
Hoffman & Volker (1969)				█		
Medeiros et al. (2005)				█	█	
Zhou et al. (1999)			█	█		
Silva et al. (2007)					█	
Kassim & Sykes (1982)		█				
Marchini et al. (2007)					█	
<b>Nascimento (2010)</b>					█	

### 3.3.2 Temperatura Cloacal

A temperatura cloacal foi mensurada em todas as semanas de criação, em três condições: antes da entrada dos animais na câmara (condição 1); no fim do período experimental (condição 2) e após 30 minutos (condição 3), para verificar se 30 minutos é o tempo suficiente para que as aves retomem ao seu estado fisiológico inicial.

Na primeira semana de criação, não houve, assim como para frequência respiratória, nenhuma diferença significativa ( $P>0,05$ ) para nenhum dos efeitos ou interações do modelo estudado. Ambas as linhagens apresentaram uma média de 39,6°C, o que indica que se pode adotar uma mesma faixa da variável temperatura cloacal para ambas as linhagens na fase inicial do ciclo. Os valores encontrados estão em concordância com o observado por Malheiros et al. (2000), que relataram valores entre 39,7°C a 41,2°C para frangos da linhagem Cobb na primeira semana de criação. E também com os dados de Dionello et al. (2002), que observaram valores de 39,86° a 40,49°C para pintos de corte da linhagem Hubbard-Pettersen, antes de serem submetidos a uma condição de estresse por calor.

A partir da segunda semana, já são observadas diferenças significativas no modelo. Na segunda semana, houve diferença significativa ( $P<0,05$ ) para a interação entre tratamento e linhagem, o que demonstrou que a resposta das aves estava diretamente relacionada aos tratamentos, ou seja, ao tempo de exposição, conforme descrito pela tabela 13.

Tabela 13 - Temperatura cloacal média para aves das linhagens Avian e Cobb durante a segunda semana do ciclo de criação para os tratamentos C60, E30, E60 e E90

Linhagem	C60	E30	E60	E90
Avian	41,04 Aab	41,23 Aa	41,27 Aa	40,99 Bb
Cobb	41,18 Aa	41,25 Aa	41,08 Ba	41,16 Aa

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P<0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Observa-se que a linhagem Cobb manteve sua temperatura cloacal estável para todos os tratamentos estudados, não diferindo estatisticamente entre si ( $P>0,05$ ), variando entre 41,08°C para 60 minutos sob condição de estresse a 41,25°C quando

submetida a 30 minutos de estresse. A linhagem Avian, por sua vez, mostrou ser mais sensível do que a Cobb, apresentando uma temperatura cloacal menor no tratamento E90 ( $P < 0,05$ ). O ocorrido pode indicar que frangos da linhagem Avian são mais sensíveis a uma condição de estresse térmico por frio, cuja condição não diferiu estatisticamente ( $P > 0,05$ ) em relação ao tratamento C60, ou seja, à condição de conforto.

Os dados encontrados para a linhagem Avian foram semelhantes aos relatados por Marchini et al. (2007), que observaram temperaturas cloacais aos 14 dias para a mesma linhagem de  $40,8^{\circ}$  a  $41^{\circ}\text{C}$  sob condição de conforto e entre  $41,2^{\circ}$  e  $41,4^{\circ}\text{C}$  para aves submetidas diariamente a uma hora em condição de estresse térmico. As linhagens também diferiram no tratamento E60, no qual as aves Cobb apresentaram uma menor temperatura cloacal (média de  $41,08^{\circ}\text{C}$ ), e a linhagem Avian,  $41,27^{\circ}\text{C}$ .

A partir da terceira semana, houve efeito da interação entre tratamento e condição, observando-se diferenças significativas a 5%, entre a condição de conforto e de estresse. Os resultados médios de temperatura cloacal, relacionados aos quatro tratamentos (C60, E30, E60 e E90) e para cada uma das condições (C1, C2 e C3), são apresentados na tabela 14, bem como os  $\Delta 1$ ,  $\Delta 2$  e  $\Delta_{\text{total}}$ , que se referem à diferença entre C2 e C1, C3 e C2, e C3 e C1, respectivamente. O desdobramento da interação entre tratamentos e condições é apresentado na tabela 14.

De acordo com diversos autores, a temperatura retal para frangos de corte em condição de conforto térmico é entre  $41^{\circ}$  e  $42^{\circ}\text{C}$  (ELSON, 1995; MELTZER, 1987; MACARI E FURLAN, 2001). Por isso, verifica-se que para todos os tratamentos na condição antes da câmara (C1), os frangos já apresentavam valores ligeiramente superiores a esse, exceto no tratamento E90 na quarta semana de criação, em que a média foi de  $41,93^{\circ}\text{C}$ .

Esse fato deve-se ao ambiente do laboratório não ser controlado, ou seja, deixando as aves suscetíveis às condições ambientais durante o período experimental. Porém, observa-se que para todas as semanas, após o tratamento de conforto (60 minutos), as aves foram capazes de diminuir significativamente sua temperatura cloacal, alcançando valores dentro da faixa de termoneutralidade, sendo essas



variações ( $\Delta 1$ ) iguais a  $0,46^\circ$ ,  $0,08^\circ$ ,  $0,50^\circ$  e  $0,58^\circ\text{C}$  para a terceira, quarta, quinta e sexta semanas, respectivamente.

Tabela 14 - Valores médios da temperatura cloacal para a terceira, quarta, quinta e sexta semanas de criação, para os quatro tratamentos, para as três condições estudadas e seus respectivos deltas

Semana	Tratamento	C 1	C 2	C 3	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta$ Total
3	C60	42,24 Aa	41,78 Bb	42,12 Aa	-0,46	0,34	-0,12
	E30	42,28 Ab	43,16 Aa	42,32 Ab	0,88	-0,84	0,04
	E60	42,12 Ab	43,10 Aa	42,33 Ab	0,98	-0,77	0,21
	E90	42,02 Ab	43,03 Aa	42,27 Ab	1,01	-0,76	0,25
4	C60	42,49 Aa	41,99 Bb	42,25 Aab	-0,50	0,26	-0,24
	E30	42,16 Ab	42,92 Aa	42,20 Ab	0,76	-0,72	0,04
	E60	42,32 Ab	43,04 Aa	42,13 Ab	0,72	-0,91	-0,19
	E90	41,93 Ac	42,93 Aa	42,27 Ab	1,00	-0,66	0,34
5	C60	41,97 Ab	41,89 Cb	42,28 Aa	-0,08	0,39	0,31
	E30	42,04 Aab	42,29 Ba	41,95 Ab	0,25	-0,34	-0,09
	E60	42,02 Ab	42,63 Aa	42,02 Ab	0,61	-0,61	0,00
	E90	42,19 Ab	42,54 Aa	41,98 Ab	0,35	-0,56	-0,21
6	C60	42,31 Aa	41,73 Bb	41,87 Ab	-0,58	0,14	-0,44
	E30	42,42 Aa	42,46 Aa	42,02 Ab	0,04	-0,44	-0,40
	E60	42,35 Aa	42,61 Aa	42,29 Aa	0,26	-0,32	-0,06
	E90	42,10 Ab	42,55 Aa	42,18 Ab	0,45	-0,37	0,08

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Portanto, 60 minutos de exposição ao conforto foram suficientes para que as aves voltassem à condição de termoneutralidade, e após 30 minutos do fim da exposição, a temperatura cloacal voltou a aumentar em  $0,34^\circ$ ,  $0,26^\circ$  e  $0,14^\circ\text{C}$  na terceira, quarta e sexta semanas, respectivamente.

Medeiros et al. (2005), ao estudarem frangos de corte da linhagem Avian dos 22 aos 42 dias de idade em câmara climática, sendo 4 grupos de aves submetidos a diferentes temperaturas ( $20^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $26^\circ$  e  $36^\circ\text{C}$ ), observaram temperaturas cloacais médias acima de  $42^\circ\text{C}$  apenas na temperatura de  $36^\circ\text{C}$ , sendo esta de  $42,8^\circ\text{C}$ . Nesta pesquisa, ressalta-se que se observaram valores acima de  $42^\circ\text{C}$  de temperatura cloacal

a 35°C, que foi a condição adotada como estresse térmico para as aves na sexta semana de criação. Provavelmente, se os autores (MEDEIROS et al., 2005) tivessem apresentado resultados em relação à idade das aves (divisão por semanas, ao invés de relatar todo o período dos 22 aos 42 dias), teriam encontrado respostas diferentes, semelhantes aos relatados neste experimento.

Houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre a condição de conforto (tratamento C60) e a condição de estresse, conforme o esperado. Mas, não houve diferenças entre os tratamentos E30, E60 e E90, o que indica que o tempo de exposição não influenciou a resposta dos animais, em função da temperatura cloacal. A exceção ocorreu na 5ª semana, em que houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) em relação ao tempo de exposição. As aves apresentaram uma menor temperatura cloacal no tratamento E30, diferindo dos tratamentos E60 e E90. Apenas nesse caso o tempo de exposição influenciou essa resposta fisiológica dos animais.

Isso indica que tanto 30 minutos, quanto 60 ou 90 minutos acarretam mudanças fisiológicas, numa tentativa de manutenção da homeotermia. Os animais mostraram-se mais sensíveis ao estresse durante a terceira semana, atingindo médias superiores a 43°C, o que corrobora as informações de Macari et al. (2004), que afirmam que as aves tornam-se mais suscetíveis ao estresse térmico após os 14 dias de vida. Outra observação importante está de acordo com Dionello et al. (2002), que sugerem que uma maior susceptibilidade ao estresse térmico pode estar associado a não-completa maturação do aparelho termorregulatório das aves.

Os dados estão de acordo com Silva et al. (2007), que relataram aumento significativo da temperatura cloacal de aves sob condição de estresse em diferentes tempos de exposição (0, 30, 60, 90 e 120 minutos). Porém, os autores observaram um aumento progressivo da temperatura cloacal em relação ao aumento do tempo de exposição, relatando temperaturas médias de 45°C aos 120 minutos de exposição a 35°C e 85% de UR. Essas observações não foram feitas neste experimento, mas uma explicação é que no trabalho de Silva et al. (2007), as aves foram mantidas em caixas, simulando a condição de transporte, ou seja, sem acesso a água ou ração, e nesta pesquisa, o ambiente de criação foi simulado, com disponibilidade a ambas.

Zhou et al. (1999), ao submeterem frangos de corte aos 70 dias de idade a uma condição de 30°C, observaram um aumento significativo da temperatura cloacal já nos primeiros 60 minutos de exposição; um outro aumento progressivo na segunda hora, e uma estabilização aos 180 minutos de exposição. Apenas após 3 horas expostos, os animais apresentaram uma temperatura cloacal média de 42°C. Na pesquisa, com 30 minutos, já ocorreram alterações significativas ( $P < 0,05$ ) na temperatura cloacal, uma vez que as temperaturas dos tratamentos de estresse foram superiores a 30°C, variando de 38°C a 35°C, para a terceira e sexta semanas, respectivamente.

Oliveira et al. (2006) relataram nenhuma diferença na temperatura retal para frangos da linhagem Avian sob diferentes temperaturas ambientais, de 16°, 20°, 25° e 32°C durante o período dos 22 aos 42 dias. Diversos autores (TEETER et al., 1992; YAHAV E HURWITZ, 1996) afirmam que animais aclimatados conseqüentemente apresentam uma menor temperatura do núcleo (representada pela temperatura cloacal) sob estresse térmico, quando comparado com aves sem aclimação. Nesta pesquisa, a aclimação não foi utilizada para poder testar os efeitos imediatos da exposição das aves a uma condição de desafio térmico.

Vale ressaltar que a maioria desses experimentos foi realizada considerando-se as mesmas condições de conforto e estresse para todo o período dos 22 aos 42 dias. E sabe-se que as aves têm exigências térmicas diferentes a cada semana do ciclo de criação (MOURA, 2001), e que existem respostas distintas para cada uma delas, conforme relatado por Marchini et al. (2007).

Após a exposição ao estresse, na terceira semana, os animais voltaram à condição inicial, representado por C3, após 30 minutos do fim dos tratamentos, assim como na quarta semana, quando houve retorno à condição inicial, exceto para o tratamento E90, cujas aves apresentaram a menor média durante o período experimental, mas que também conseguiram diminuir em 0,66°C a temperatura cloacal ( $\Delta 2$ ).

As linhagens diferiram entre si ( $P < 0,05$ ) na sexta semana do ciclo de criação, sendo que a linhagem Avian apresentou uma média de 42,29°C e a Cobb, 42,19°C.

Esse resultado confirma a maior tolerância ao calor das aves da linhagem Cobb, o que também pode ser verificado pela FR, em que a linhagem Avian apresentou

valores superiores à Cobb durante a última semana do ciclo de criação. Durante a 6ª semana, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) das linhagens em relação às condições estudadas, conforme demonstrado pela tabela 15.

Tabela 15 - Temperatura cloacal (°C) das linhagens Avian e Cobb para as três condições experimentais, na sexta semana do ciclo de criação

Linhagem	C1 (°C)	C2 (°C)	C3 (°C)
Avian	42,36 Aa	42,43 Aa	42,08 Ab
Cobb	42,23 Ba	42,25 Ba	42,10 Aa

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey

A tabela indica um maior valor de temperatura cloacal para a linhagem Avian em relação a Cobb ( $P < 0,05$ ), para as condições 1 e 2, isto é, frangos Avian foram menos tolerantes ao calor, independentemente do tempo de exposição, mas apresentaram valores semelhantes à linhagem Cobb, após 30 minutos do fim da exposição (C3). Já a Cobb, de modo geral, não diferiu ( $P > 0,05$ ) entre as 3 condições estudadas. Os valores superiores da linhagem Avian é outro indicativo de sua menor tolerância ao estresse térmico.

Portanto, assim como para a FR, com os dados obtidos na pesquisa, e para as condições ambientais adotadas na mesma, foi possível elaborar faixas para as condições de conforto e estresse de frangos de corte das linhagens Avian e Cobb, para todas as seis semanas do ciclo de criação, conforme descrito pela tabela 16. Também foi possível fazer uma comparação entre os diversos valores propostos na literatura para a condição de conforto, conforme demonstrado pela tabela 17.

Tabela 16 - Valores médios de temperatura cloacal, em condição de conforto e estresse térmico, recomendados para as seis semanas do ciclo de criação para as linhagens Avian e Cobb

Semana do ciclo	Conforto		Estresse					
	Avian	Cobb	30 min		60 min		90 min	
			Avian	Cobb	Avian	Cobb	Avian	Cobb
TCloacal (°C)								
1	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6	39,6
2	41,04	41,18	41,23	41,25	41,27	41,08	40,99	41,16
3	41,78	41,78	43,03 a 43,16	43,03 a 43,16	43,03 a 43,16	43,03 a 43,16	43,03 a 43,16	43,03 a 43,16
4	41,99	41,99	42,92 a 43,04	42,92 a 43,04	42,92 a 43,04	42,92 a 43,04	42,92 a 43,04	42,92 a 43,04
5	41,89	41,89	42,29 a 42,63	42,29 a 42,63	42,29 a 42,63	42,29 a 42,63	42,29 a 42,63	42,29 a 42,63
6	41,73	41,73	42,46 a 42,61	42,46 a 42,61	42,46 a 42,61	42,46 a 42,61	42,46 a 42,61	42,46 a 42,61

Tabela 17 - Faixas ideais de temperatura cloacal para o ciclo de produção de frangos de corte, em condição de conforto, descritas na literatura

Autores	Tclo (°C)			
	39,5 a 40	40 a 40,5	40,5 a 41,5	41,5 a 42
Elson (1995)			■	■
Meltzer (1987)			■	■
Macari & Furlan (2001)			■	
Marchini et al. (2007)	■	■		
Malheiros et al. (2000)	■	■		
Dionello et al. (2002)	■	■		
Medeiros et al. (2005)			■	
Silva et al. (2007)		■	■	
Zhou et al. (1999)	■	■		
<b>Nascimento (2010)</b>	■	■	■	■

### 3.4 Conclusões parciais

1. Foi possível estipular faixas para as seis semanas do ciclo de criação em relação a FR e Tclo, para condição de conforto e estresse térmico.
2. Com os resultados, é possível afirmar, com base nos dados de FR e Tclo que a linhagem Cobb é mais tolerante ao estresse térmico do que a Avian, uma vez

que seus valores fisiológicos foram menores. Elas diferiram em relação a FR nas 3ª, 5ª e 6ª semanas; e na 6ª semana, para  $T_{clo}$ .

3. Em relação a FR, não houve diferença entre os tratamentos E30, E60 e E90, ou seja, não houve efeito do tempo de exposição. As aves retornaram a condição inicial, exceto na 3ª semana para os tratamentos E60 e E90, mostrando a maior sensibilidade das aves ao estresse térmico nesta fase do ciclo de criação.
4. Em relação a  $T_{clo}$ , também não houve efeito do tempo de exposição, exceto na 5ª semana, com temperatura menor para E30, em comparação com E60 e E90. As aves retornaram à condição inicial, demonstrando que 30 minutos foi o tempo suficiente para que as aves retornassem à sua condição inicial, não necessariamente de termoneutralidade.

## Referências

BARBOSA FILHO, J.A.D. **Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais, utilizando análise de imagens.**

2004. 140p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BIANCA, W.; KUNZ, P. Physiological reactions of three breeds of goats to cold, heat and high altitude. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v.5, n.1, p. 57-69, 1978.

BORGES, S.A.; MAIORKA, A.; SILVA, A.V.F. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p. 975-981, 2003.

BROWN-BRANDL, T.M.; YANAGI, T. Jr.; XIN, H.; GATES, R.S.; BUCKLIN, R.A.; ROSS, G.S. A new telemetry system for measuring core body temperature in livestock and poultry. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 19, n.5, p. 583-589, 2003.

CARDOSO, M.M.; GROTTA, S.F.; BOLINO, M.J.R.; YURI, F.M.; OLIVEIRA, E.D.; WARPECHOWSKI, M.B. Desempenho de frangos de corte de linhagem de crescimento rápido em diferentes sistemas de produção. In: ZOOTEC, 16., 2006, Recife. Disponível em: < <http://www.abz.org.br/anais-zootec-2006.html>>. Acesso em: 12 mar., 2009.

DAHLKE, F.; GONZALES, E.; FURLAN, R.L.; GADELHA, A.; MAIORKA, A.; FARIA FILHO, D.E.F.; ROSA, P.S. Efeito da temperatura ambiente sobre hormônios tireoideanos, temperatura corporal e empenamento de frangos de corte, fêmeas, de diferentes genótipos. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v.27, n.3, p. 391-397, 2005.

DIONELLO, N.J.L.; MACARI, M.; FERRO, J.A.; RUTZ, F.; FERRO, M.I.T.; FURLAN, L.R. espostas fisiológicas associadas à termotolerância em pintos de corte de duas linhagens por exposição a altas temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.31, n.3, p. 79-85, 2002.

EIGENBERG, R.A.; HAHN, G.L.; NIENABER, J.A.; BROWN-BRANDL, T.M.; SPIERS, D.E. Development of a new respiration rate monitor for cattle. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, p.723-728, 2000.

ELSON, H.A. Environmental Factors and Reproduction. In: AUSTIC, R. E; MALDEN C. NESHEIM (Ed). **Poultry Production**, Philadelphia : Lea & Febiger, 1995. p. 389-409.

HOFFMANN, A; VOLKER, J. Anatomía e fisiología de las aves domésticas. Zaragoza: Editorial Acribia, 1969. 190p.

KASSIM, H.; SYKES, A.H. The respiratory responses of the fowl to hot climates. **The Journal of Experimental Biology**, London, v.97, n.1, p. 301-309, 1982.

LIN, H.; ZHANG, H.F.; JIAO, H.C.; ZHAO, T.; SUI, S.J.; GU, X.H.; ZHANG, Z.Y.; BUYSE, J.; DECUYPERE, E. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. I. One week of age. **Poultry Science**, Champaign, v.84, p. 1166-1172, 2005.

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.2, p. 31-87.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 375p.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; MAIORKA, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. (Ed.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 2004. p.137-155.

MALHEIROS, R.D.; MORAES, V.M.B.; BRUNO. L.D.G.; MALHEIROS, E.B.; FURLAN, R.L.; MACARI, M. Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch. **Journal of Applied Poultry Science**, Stanford, v.9, p. 111-117, 2000.

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; TAVARES, M. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v.12, n.1, p. 41-46, 2007.

MATOS, M.B.; FERREIRA, R.A.; SAVARIS, V.D.L.; COUTO, H.P.; SOARES, R.T.R.N.; OLIVEIRA, N.T.E. Balanço eletrolítico e redução da proteína bruta da ração sobre parâmetros fisiológicos e sanguíneos de frangos de corte no calor. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v.31, n.3, p. 243-249, 2009.

MEDEIROS, C.M.; BAÊTA, F.C.; OLIVEIRA, R.F.M.; TINÔCO, I.F.F.; ALBINO, L.F.T.; CECON, P.R. Índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p. 660-664, 2005.

MELTZER, A. Acclimatization to ambient temperature and its nutritional consequences. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v. 43, p. 33-44, 1987.

MOURA, D.J. Ambiência na produção de aves de corte. In: SILVA, I.J.O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 2, p. 75 – 149.

OLIVEIRA, G.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; VAZ, R.G.M.V.; ORLANDO, U.A.D. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.4, p. 1398-1405, 2006.

RICHARDS, S.A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 216, p. 1-10, 1971.

RYDER, A.A.; FEDDES, J.J.R.; ZUIDHOF, M.J. Field study to relate heat stress index to broiler performance. **Journal of Applied Poultry Research**, Savoy, v.13, p. 493-499, 2004.

SAS INSTITUTE. **SAS OnlineDoc® 9.2**. Cary, 2009.

SILVA, M.A.N.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, C.J.M.; SILVA, I.J.O.; COELHO, A.D.; SAVINO, J.M. Avaliação do estresse térmico em condição simulada de transporte de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.4, p.1126 - 1130, 2007 (supl).

SWICK, R.A. Broiler management in warm climates. **American Soybean Association Technical Bulletin**, Singapore, v.P040, p.1-5, 1998.

TEETER, R.G.; SMITH, M.O.; WIERNUSK, C.J. Broiler acclimation to heat distress and feed intake. Effects on body temperature in birds exposed to termoneutral and high



ambient temperatures. **Poultry Science**, Amsterdam, v.71, n.6, p.1101-1104. 1992.

YAHAV, S.; HURWITZ, S. Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. **Poultry Science**, Champaign, v.75, n.3, p.402-405, 1996.

YAHAV, S.; LUGER D.; CAHANER A.; DOTAN M.; RUSAL M.; HURWITZ S. Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures. **British Poultry Science**, Abingdon, n. 39, p. 133–138, 1998.

YANAGI, T.; Jr., XIN, H.; GATES, R.S. Modeling partial surface evaporative cooling of chickens. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL, 2001. St Joseph **Meeting...**, Sacramento, St Joseph: ASAE, 2001. paper no. 01-3011

ZHOU, W.T.; FUJITA, M.; YAMAMOTO, S. Thermoregulatory responses and blood viscosity in dehydrated heat-exposed broilers (*Gallus domesticus*). **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.24, p. 185-192, 1999.

#### **4 DETERMINAÇÃO DE MODELOS DE PREDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL CORPÓREA MÉDIA DE FRANGOS DE CORTE**

##### **Resumo**

A temperatura superficial corporal média (TSM) dos animais pode ser utilizada como um parâmetro de mensuração da condição de estresse ou conforto ao qual são submetidos. O frango de corte, devido ao seu rápido crescimento, apresenta diferentes características ao longo do ciclo de criação. Com isso, pode-se considerar que, para cada fase do ciclo, a temperatura superficial varia, bem como para as regiões corporais mais significativas. Os objetivos deste trabalho foram: propor para as linhagens Avian e Cobb modelos de regressão linear múltipla para o cálculo da TSM, em cada uma das semanas do ciclo de criação; determinar as variações da temperatura superficial de diferentes regiões corporais, em condições de conforto e estresse térmico; avaliar a influência do tempo de exposição nas respostas de temperatura superficial das aves de corte de diferentes linhagens sob diferentes condições de estresse térmico. O experimento foi realizado em câmara climática, com duas linhagens comerciais (Avian e Cobb), durante as seis semanas do ciclo de criação, sendo as aves expostas a duas condições climáticas (conforto e estresse), em três tempos distintos de exposição, em três condições (antes da câmara; no final da exposição ao tratamento; 30 minutos após o fim da exposição), a quatro tratamentos: conforto com 60 minutos de exposição (C60); estresse com 30 minutos de exposição (E30); estresse com 60 minutos de exposição (E60); estresse com 90 minutos de exposição (E90). Adotou-se um delineamento experimental em quadrado latino 4 x 4 (4 tratamentos x 4 lotes de aves). A TSM foi mensurada por dois métodos, sendo pela equação proposta por Richards (1971), e pelo método do Ponto Focal, cujas mensurações foram utilizadas para o cálculo dos modelos de regressão. Foi possível propor modelos de regressão lineares múltipla para as duas linhagens (TSM Nascimento) em cada uma das semanas do ciclo de criação, sendo que o modelo ideal para cada uma das semanas foi determinado pelo teste da razão da verossimilhança, para verificar quantas e quais regiões corporais são necessárias para o cálculo da TSM. Verificou-se que todas as temperaturas das regiões corporais variaram apenas entre a condição de estresse e a de conforto, e o tempo de exposição à condição de estresse não influenciou a resposta das aves.

Palavras-chave: Ambiente controlado; Linhagens; Ciclo de criação

## DETERMINATION OF BROILER CHICKENS MEAN BODY SUPERFICIAL TEMPERATURE PREDICTION MODELS

### Abstract

Mean superficial body temperature (MST) of animals can be used as a parameter of assessment of stress or comfort conditions to which they are submitted. Broiler chicken, due to its fast growth, presents different characteristics through lifecycle. Therewith, it is possible to consider, superficial temperature varies, as well as the most significative body regions. The objectives of this research were: to propose to avian and Cobb strains multiple linear regressions models to the calculation of MST, in each one of the lifecycle weeks; to determine the variations of superficial temperature from different body regions, in comfort and thermal stress conditions; to assess the influence of exposure time in the answers of superficial temperature of broiler chickens from different strains under diverse thermal stress conditions. Experiment was done in climatic chamber, with two commercial strains (Avian and Cobb), during the six weeks of lifecycle, with birds exposed to two climatic conditions (comfort and stress), in three different exposure times, and in three conditions (before going to the chamber; in the end of exposure time; 30 minutes after the end of exposure), to four treatments: comfort with 60 minutes of exposure (C60); stress with 30 minutes of exposure (E30); stress with 60 minutes of exposure (E60); stress with 90 minutes of exposure (E90). A 4 x 4 latin square experimental design was adopted (4 treatments x 4 lots of birds). MST was measured by two methods, the first by the equation proposed by Richards (1971), and by focal method, which measures were used to calculate the regression models. It was possible to propose multiple linear regression models to both strains (MST Nascimento) in each one of the lifecycle weeks, and the ideal model to each week was determined by the test of maximum likelihood, to verify how many and which body regions are necessary to calculate MST. It was possible to verify that all regions' body temperatures varied only among stress and comfort conditions, and exposure time to stress condition did not influence the answer of broilers.

Keywords: Controlled environment; Strains; Lifecycle

## 4.1 Introdução

A temperatura superficial é amplamente utilizada como parâmetro para avaliação da condição de conforto ou estresse térmico de frangos de corte (MALHEIROS et al., 2000; DAHLKE et al., 2005; SHINDER et al., 2007; CANGAR et al., 2008). Essa variável não indica necessariamente se as aves se encontram em uma condição de termoneutralidade ou não. Porém, sabe-se que a variação da temperatura superficial corpórea está diretamente relacionada com o fluxo sanguíneo periférico nas aves.

Aumentos na temperatura superficial, portanto, indicam aumento do fluxo sanguíneo na superfície corporal, o que se relaciona com uma maior necessidade de perdas de calor por meios sensíveis. Já diminuições relacionam-se com uma vasoconstrição periférica, o que significa que a ave pode estar em condições de termoneutralidade, ou mesmo exposta a uma condição de estresse por frio. Essa avaliação é melhor mensurada pela associação com outros parâmetros fisiológicos, como frequência respiratória e temperatura cloacal.

Por exemplo, aumento na temperatura superficial associado à observação de ofegação das aves, geralmente é relacionado a ineficácia dos meios sensíveis de perdas de calor, sendo necessário a utilização de mecanismos latentes para a dissipação do calor para o ambiente externo. Também o aumento da temperatura cloacal, associado à temperatura superficial, indica as tentativas do organismo em dissipar o calor para as camadas mais superficiais.

A temperatura superficial é um importante parâmetro de avaliação, uma vez que sua variação é bastante rápida frente a alterações ambientais, podendo atuar como um indicativo de alterações do fluxo sanguíneo periférico e, conseqüentemente, das trocas de calor. A contribuição das regiões corporais para a manutenção da homeotermia tem sido bastante estudada (RICHARDS, 1971; MALHEIROS et al., 2000; SHINDER et al., 2007). Mas atualmente, há a necessidade de maiores informações a respeito da contribuição das regiões corporais ao longo do ciclo de criação, e se as linhagens apresentam perfis distintos de temperaturas superficiais sob condição de conforto e estresse térmico.

Segundo Yahav et al. (2004), a quantificação da perda de calor das diferentes regiões corpóreas é fundamental para o cálculo das trocas de calor sensíveis entre as aves e o meio circundante. Portanto, é importante a predição de modelos para o cálculo da temperatura superficial média (TSM) das aves, baseado em regiões vasorregulatórias conservadoras e regiões mais significativas para as respostas vasomotoras, como pata e crista.

Destaca-se a carência de modelos e métodos, principalmente de fácil aplicabilidade e não invasivos para que os profissionais possam prever de maneira prática a temperatura superficial média das aves. O modelo de Richards (1971), bastante difundido na literatura (MALHEIROS et al., 2000; PEREIRA, 2004; WELKER et al., 2008) foi elaborado num estudo com aves adultas, cuja temperatura superficial era mensurada por implantação cirúrgica de termoresistores e termopares, ou seja, por um método invasivo. Além disso, devido ao constante melhoramento genético das linhagens utilizadas em escala comercial, as características fisiológicas, bem como a termotolerância dessas aves alteraram-se significativamente.

Baseado nas informações descritas, **os objetivos deste trabalho foram:**

- **propor modelos de regressão linear múltipla para o cálculo da TSM para as linhagens, em cada uma das semanas do ciclo de criação.**
- **determinar para as linhagens Avian e Cobb as variações da temperatura superficial de diferentes regiões corporais, em condições de conforto e estresse térmico;**
- **avaliar a influência do tempo de exposição nas respostas de temperatura superficial das aves de corte de diferentes linhagens sob diferentes condições de estresse térmico.**

## 4.2 Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em câmara climática nas dependências do Núcleo de Pesquisa em Ambiência (NUPEA), junto ao Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP.

O organograma geral da pesquisa pode ser observado na figura 6 abaixo. Utilizaram-se duas linhagens comerciais (Cobb e Avian), expostas a duas condições climáticas (conforto e estresse), durante três tempos distintos de exposição (30, 60 e 90 minutos). As variáveis respostas foram a temperatura superficial das regiões da asa ( $T_{asa}$ ), pata ( $T_{pata}$ ), dorso ( $T_{dorso}$ ), cabeça ( $T_{cabeça}$ ) e crista ( $T_{crista}$  – a partir da 4ª semana do ciclo de criação).

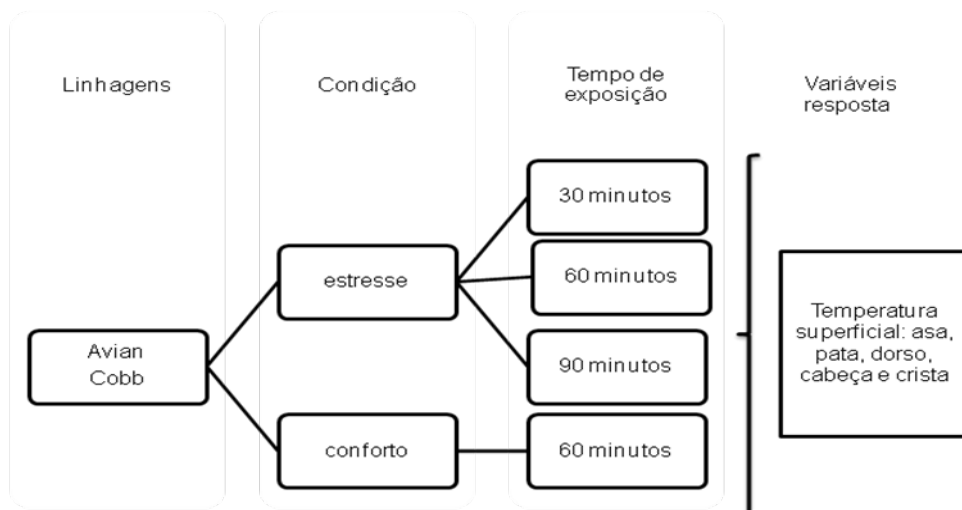


Figura 6 - Organograma geral da pesquisa

### 4.2.1 Aves

Foram utilizadas semanalmente 96 aves, totalizando 584 aves, divididas em quatro lotes de 24 animais, sendo 12 aves de cada linhagem (como unidade experimental). Em cada semana de criação, foram analisados os quatro primeiros dias, de modo que todas as aves fossem submetidas a todos os tratamentos. Dessa forma, pode-se considerar que foram realizados seis experimentos distintos ao longo deste trabalho.

As aves, com peso inicial médio de 50,7g e 50g, para as linhagens Avian e Cobb, respectivamente, foram distribuídas em boxes, com 1m<sup>2</sup>, adotando-se uma densidade de 12 aves/m<sup>2</sup>. Os boxes foram instalados dentro da câmara climática, com dimensões de 2,25x3,75m, totalizando uma área de piso de 8,5m<sup>2</sup>.

Os lotes foram homogêneos e mistos, com os animais distribuídos de maneira aleatória para cada um dos lotes estudados. A identificação das aves foi realizada por anilhas coloridas. Durante o ciclo de produção, as aves foram criadas em um galpão convencional, localizado no Departamento de Genética da ESALQ/ USP, e os animais foram transferidos para a câmara climática apenas nos dias de avaliação, com água e ração *ad libitum*.

#### 4.2.2 Condições climáticas

O estabelecimento das faixas das condições de conforto e estresse para cada semana de criação foi baseado nas informações propostas por Macari e Furlan (2001). Baseando-se nessas informações, foram pré-determinadas as condições experimentais de conforto e estresse para cada semana de criação, considerando o controle da câmara climática, o que pode ser observado na tabela 18.

Tabela 18 - Faixas limites das condições experimentais para frangos de corte, utilizadas na pesquisa, em ambiente controlado

Ciclo de produção (semana)	Condição de conforto		Condição de estresse	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
1	34	60	30	80
2	31,5	60	25	80
3	28,5	60	38	80
4	25,5	60	37	80
5	23	60	36	80
6	22,5	60	35	80

#### 4.2.3 Controle do ambiente experimental – Câmara climática

Dentro da câmara climática foram realizadas aferições para obtenção da temperatura de globo negro, temperatura e umidade relativa do ar, descritas a seguir.

**Temperatura de globo negro:** Foi instalado um termômetro de Globo Negro, entre os dois boxes experimentais, a 30 cm de altura, acoplado a um *datalogger* da marca HOBO® para registro da temperatura em intervalos de 10 minutos.

**Temperatura e Umidade relativa do ambiente:** Foram utilizados sensores automáticos da marca HOBO® (tipo *dataloggers*) de temperatura e umidade relativa, com leitura a cada 10 minutos.

#### **4.2.4 Controle do ambiente de criação – Galpão experimental**

Para o controle do ambiente de criação das aves, no galpão experimental, foi realizado o registro em intervalos de 30 minutos das seguintes variáveis: Temperatura de globo negro (Tg), Temperatura de bulbo seco (Ts) e Umidade relativa (UR) do ambiente. Utilizaram-se 3 sensores automáticos da marca HOBO® (tipo *dataloggers*) de temperatura e umidade relativa, com leitura a cada 30 minutos. Os sensores foram instalados no centro geométrico do galpão, e um sensor no Box experimental de cada uma das linhagens.

#### **4.2.5 Delineamento Experimental**

A exposição das aves às diferentes condições foi realizada em diferentes tempos de permanência à condição estudada, visto que o tempo de exposição ao estresse influencia a sensação térmica do animal e, conseqüentemente, as suas respostas fisiológicas (SILVA et al., 2007). O tempo de exposição ao estresse foi baseado no trabalho de Yanagi Jr. et al. (2001), que consideraram 20 minutos o tempo mínimo de exposição, presumindo ser tempo suficiente para que as aves adquiram estabilidade dos processos termorregulatórios, e no trabalho de Silva et al. (2007), que observaram que após 30 minutos de exposição a altas temperatura e umidade relativa, frangos de corte aos 42 dias apresentaram um aumento dos parâmetros fisiológicos, indicando desequilíbrio e estresse térmico, em condição simulada de transporte.



Richards (1971) adotou intervalos de tempo de exposição de até 24 horas, porém preconizou a realização das medições da temperatura superficial das aves após um período mínimo de 30 minutos.

Baseando-se nessas considerações, foram pré-estabelecidos os seguintes tratamentos para cada semana de produção:

- Tratamento Conforto com 60 minutos de exposição – C60;
- Tratamento Estresse com 30 minutos de exposição – E30;
- Tratamento Estresse com 60 minutos de exposição – E60;
- Tratamento Estresse com 90 minutos de exposição – E90.

A montagem do experimento obedeceu à aleatorização dos lotes em cada condição (tratamentos). Dessa forma, semanalmente foram utilizados quatro lotes de 24 aves, distribuídas aleatoriamente nos quatro tratamentos durante os quatro dias sequenciais de cada semana, de acordo com as tabelas 19 a 24.

Tabela 19 - Condições experimentais na primeira semana de criação

Dia	Lote	Condição	Tempo de exposição (min)
		(tratamento)	
1	I a IV	conforto - 34°C, 60% UR	60
		estresse - 30°C, 80% UR	30, 60 e 90
2	I a IV	conforto - 34°C, 60% UR	60
		estresse - 30°C, 80% UR	30, 60 e 90
3	I a IV	conforto - 34°C, 60% UR	60
		estresse - 30°C, 80% UR	30, 60 e 90
4	I a IV	conforto - 34°C, 60% UR	60
		estresse - 30°C, 80% UR	30, 60 e 90

Tabela 20 - Condições experimentais na segunda semana de criação

Dia	Lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90
2	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90
3	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90
4	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90

Tabela 21 - Condições experimentais na terceira semana de criação

Dia	Lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90
2	I a IV	conforto - 28,5°C, 60% UR	60
		estresse - 38°C, 80% UR	30, 60 e 90
3	I a IV	conforto - 28,5°C, 60% UR	60
		estresse - 38°C, 80% UR	30, 60 e 90
4	I a IV	conforto - 28,5°C, 60% UR	60
		estresse - 38°C, 80% UR	30, 60 e 90

Tabela 22 - Condições experimentais na quarta semana de criação

Dia	Lote	Condição (tratamento)	Tempo de exposição (min)
1	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90
2	I a IV	conforto - 25,5°C, 60% UR	60
		estresse - 37°C, 80% UR	30, 60 e 90
3	I a IV	conforto - 25,5°C, 60% UR	60
		estresse - 37°C, 80% UR	30, 60 e 90
4	I a IV	conforto - 25,5°C, 60% UR	60
		estresse - 37°C, 80% UR	30, 60 e 90

Tabela 23 - Condições experimentais na quinta semana de criação

Dia	Lote	Condição	Tempo de exposição (min)
		(tratamento)	
1	I a IV	conforto - 31,5°C, 60% UR	60
		estresse - 25°C, 80% UR	30, 60 e 90
2	I a IV	conforto - 23°C, 60% UR	60
		estresse - 36°C, 80% UR	30, 60 e 90
3	I a IV	conforto - 23°C, 60% UR	60
		estresse - 36°C, 80% UR	30, 60 e 90
4	I a IV	conforto - 23°C, 60% UR	60
		estresse - 36°C, 80% UR	30, 60 e 90

Tabela 24 - Condições experimentais na sexta semana de criação

Dia	Lote	Condição	Tempo de exposição (min)
		(tratamento)	
1	I a IV	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
		estresse - 35°C, 80% UR	30, 60 e 90
2	I a IV	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
		estresse - 35°C, 80% UR	30, 60 e 90
3	I a IV	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
		estresse - 35°C, 80% UR	30, 60 e 90
4	I a IV	conforto - 22,5°C, 60% UR	60
		estresse - 35°C, 80% UR	30, 60 e 90

Todos os tratamentos foram executados no mesmo dia, ou seja, cada lote foi submetido a um tratamento por dia. A distribuição dos animais dos lotes em cada tratamento avaliado pode ser visualizada na tabela 25, de acordo com o delineamento experimental adotado.

Tabela 25 - Quadrado latino 4 x 4 adotado durante o período experimental

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
Lote I	E90	E60	C60	E30
Lote II	E60	E30	E90	C60
Lote III	E30	C60	E60	E90
Lote IV	C60	E90	E30	E60

Como nas seis semanas de criação existem condições distintas de conforto e estresse térmico, optou-se em adotar um delineamento experimental em quadrados latinos 4 x 4 (4 tratamentos x 4 lotes de aves), conforme a tabela 25 citado anteriormente e seguindo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijklmn} = \mu + g_i + d_j + t_k + r_{ijk} + l_m + tl_{km} + \delta_{ijkm} + c_n + tc_{kn} + lc_{mn} + tlc_{kmn} + \varepsilon_{ijklmn}$$

Onde:

$Y_{ijklmn}$  = é a n-ésima observação da temperatura superficial corporal avaliada no l-ésimo lote, no j-ésimo dia de coleta, no k-ésimo tratamento, na m-ésima linhagem, na m-ésima condição ambiental;

$g_i$  = efeito fixo do i-ésimo lote ( $i = 1, \dots, 4$ );

$d_j$  = efeito fixo do j-ésimo dia ( $j = 1, \dots, 4$ );

$t_k$  = efeito fixo do k-ésimo tratamento ( $k = C60, E30, E60, E90$ );

$r_{ijk}$  = erro aleatório referente aos lotes, dias e tratamentos;

$l_m$  = efeito fixo da m-ésima linhagem ( $m = Avian$  ou  $Cobb$ );

$tl_{km}$  = efeito da interação entre o k-ésimo tratamento com a m-ésima linhagem;

$\delta_{ijkm}$  = erro aleatório referente aos lotes, dias, tratamentos e linhagens e a interação entre tratamentos e linhagens;

$c_n$  = efeito fixo da n-ésima condição ambiental ( $n =$  coleta antes de entrar na câmara climática, coleta logo após sair da câmara climática e a coleta e 30 minutos após sair da câmara climática);

$tc_{kn}$  = efeito da interação entre o k-ésimo tratamento com a n-ésima condição ambiental;

$lc_{mn}$  = efeito da interação entre a m-ésima linhagem com a n-ésima condição ambiental;

$tlc_{kmn}$  = efeito da interação entre o k-ésimo tratamento com a m-ésima linhagem e com a n-ésima condição ambiental;

$\varepsilon_{ijklmn}$  = efeito residual, que inclui todas as demais fontes de variações não consideradas no modelo, além do erro de determinação;

$\mu$  = média paramétrica.

Os dados das temperaturas superficiais foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento *procMIXED* do software estatístico SAS® (SAS, 2009). Foi utilizado o procedimento LSMEANS para obtenção de médias ajustadas das variáveis, e efetuadas comparações pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), quando pertinente.

#### **4.2.6 Variáveis respostas**

Adotou-se como variável resposta, a temperatura superficial corpórea, de regiões desprovidas de penas e de regiões com cobertura de penas, que podem ser utilizadas como parâmetros para a avaliação dos reflexos do estresse calórico nas aves, ou seja, aquelas que relacionam o animal e o ambiente.

#### **Temperatura superficial corpórea – TSC**

A variável temperatura superficial corpórea média foi mensurada por dois métodos, o primeiro por meio da mensuração de diferentes regiões corporais, pelo mapeamento das regiões corporais, e posterior cálculo do modelo; o segundo, por meio do método focal.

#### **Método 01 – Mapeamento das regiões corporais**

Este método propõe as medidas isoladas das diferentes partes do corpo do animal. A proposta de Richards (1971) foi adotada por (MALHEIROS, 2000; PEREIRA, 2007), que registraram as temperaturas da asa, cabeça, dorso, pata e crista (a partir da quarta semana) das aves, conforme a figura 7.

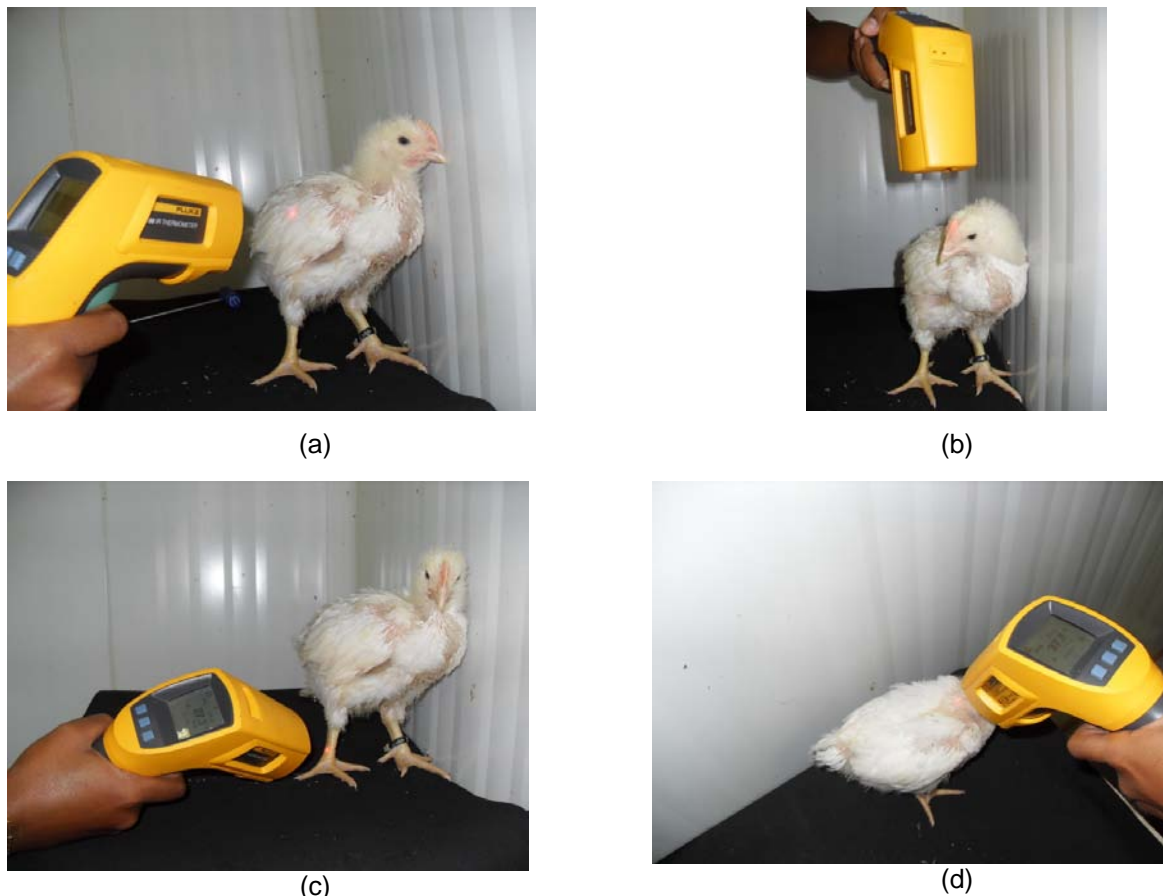


Figura 7 - Medidas de temperatura superficial das aves nas diferentes regiões corporais - (a) asa; (b) cabeça; (c) pata; (d) dorso

O registro da temperatura superficial média foi realizado utilizando-se um termômetro de infravermelho, da marca FLUKE, modelo 566, possibilitando determinar a temperatura superficial média (TSM), pela eq. (1), que corresponde à proposta inicial de Richards (1971):

$$TSM = (0,12.T_{asa}) + (0,03.T_{cabeça}) + (0,15.T_{pata}) + (0,70.T_{dorso}) \quad (1)$$

### Método 02 – Ponto Focal

Pelo fato do uso do termômetro de infravermelho, adotou-se a sugestão proposta pelo manual do fabricante do equipamento (FLUKE, 2007), que indica a medição das temperaturas mínima, máxima e média do objeto estudado. Portanto, a temperatura superficial média das aves foi registrada, considerando a distância – ponto focal do termômetro de infravermelho (30:1), e admitindo-se a ave como uma esfera,

desprezando-se as patas e a cabeça, utilizando a função temperatura média do termômetro.

As medições foram realizadas adotando-se uma distância em que a área de captura do termômetro fosse focada somente na área de exposição da ave. Adotou-se uma distância focal de 15 cm dos animais como padrão, fazendo-se mensurações da vista dorsal dos animais. Todas as mensurações foram realizadas sobre uma superfície preta e fosca, sem interferências externas, como o adotado por Silva (2009) na captura de imagens de frangos de corte para o desenvolvimento de um modelo para cálculo da área superficial.

O principal objetivo da adoção deste método é se obter uma maneira direta para a mensuração da temperatura superficial corpórea média dos animais, e também sua temperatura corporal, sem a utilização de métodos invasivos. Além disso, suas mensurações foram utilizadas para o cálculo de equações de regressão para a mensuração da TSM em cada uma das semanas de criação.

Em ambos os métodos, o registro da temperatura superficial das aves foi realizado em três situações: antes da entrada na câmara, logo após o término do tratamento e 30 minutos após a exposição ao estresse ou à condição de conforto. Dessa forma foi possível mapear o comportamento térmico das aves e sua resposta após a exposição às diferentes condições estudadas.

#### **4.2.7 Modelos de Regressão**

A partir dos dados das temperaturas superficiais obtidos na pesquisa, pelo método 2 – Ponto Focal, foram propostos modelos de regressão linear múltipla, para cada uma das linhagens em todas as semanas de criação. Foi empregada a rotina de procedimento de regressão (*procREG*) do software estatístico SAS® (SAS, 2009).

Com isso, foi possível testar a eficiência do método 2 – Ponto Focal como mensuração da TSM, além de validar novos modelos para predição da mesma, que serão denominados de TSM Nascimento, e de compará-lo com a equação proposta por Richards (1971), denominada TSM Richards. Analisaram-se todos os dados, desconsiderando-se as diferentes condições e tratamentos adotados ao longo da

pesquisa, para avaliar sua aplicabilidade independentemente da condição experimental adotada.

Para a verificação do modelo ideal para cada semana para as diferentes linhagens, e também, na tentativa de inserir o menor número de variáveis para a obtenção da TSM, adotou-se a análise de modelos encaixados. Por meio dessa análise, utilizou-se o teste da razão da verossimilhança para escolha do melhor modelo. O critério utilizado foi o de Akaike, denominado AIC.

Realizou-se a comparação do modelo completo, que engloba todas as regiões corporais estudadas, com modelos que apresentavam um menor número de parâmetros. Pelo valor da verossimilhança de cada um dos modelos, calculou-se o valor do qui-quadrado, e posteriormente verificado na tabela para observar a significância do modelo. Adotou-se como critério o nível de 5% de probabilidade. Os modelos utilizados para o cálculo das regressões lineares múltiplas estão descritos nas eq. (3) e (4):

$$TSM = a + b_{asa} \cdot T_{asa} + b_{cabeça} \cdot T_{cabeça} + b_{pata} \cdot T_{pata} + b_{dorso} \cdot T_{dorso} \quad (3)$$

$$TSM = a + b_{asa} \cdot T_{asa} + b_{cabeça} \cdot T_{cabeça} + b_{pata} \cdot T_{pata} + b_{dorso} \cdot T_{dorso} + b_{crista} \cdot T_{crista} \quad (4)$$

Onde:

TSM = temperatura superficial média, °C;

a = intercepto do eixo y;

$b_{asa}$  = coeficiente angular da variável  $T_{asa}$ ;

$T_{asa}$  = temperatura da asa, °C;

$b_{cabeça}$  = coeficiente angular da variável  $T_{cabeça}$ ;

$T_{cabeça}$  = temperatura da cabeça, °C;

$b_{pata}$  = coeficiente angular da variável  $T_{pata}$ ;

$T_{pata}$  = temperatura da pata, °C;

$b_{dorso}$  = coeficiente angular da variável  $T_{dorso}$ ;

$T_{dorso}$  = temperatura do dorso, °C;

$B_{crista}$  = coeficiente angular da variável  $T_{crista}$ ;

$T_{crista}$  = temperatura da crista, °C.



## 4.3 Resultados e Discussão

### 4.3.1 Temperatura Superficial Corpórea

Para verificação da condição fisiológica das aves, foram mensuradas as temperaturas superficiais corpóreas de cinco regiões: asa, pata, cabeça e dorso; e a partir da quarta semana, da crista. As temperaturas foram obtidas para averiguar as respostas das aves das linhagens Avian e Cobb durante todo o ciclo de criação, em condição de conforto e de estresse térmico.

Para a 1ª semana, houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) entre os quatro os tratamentos estudados, para as regiões da asa, cabeça e dorso, conforme descrito pela tabela 26.

Tabela 26 - Temperaturas médias das regiões da asa, cabeça e dorso em função dos tratamentos adotados, para aves das linhagens Avian e Cobb durante a primeira semana do ciclo de criação

Tratamento	Asa (°C)	Cabeça (°C)	Dorso (°C)
C60	35,04 A	35,02 A	35,51 A
E30	34,25 B	34,24 B	34,97 B
E60	34,18 B	34,36 B	34,76 B
E90	34,29 B	34,38 B	35,00 B

Médias com letras diferentes nas colunas indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey

Pode-se observar que, para as três regiões corporais, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre a condição de conforto (tratamento C60) e a condição de estresse. Porém, não houve diferenças significativas ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos de estresse, ou seja, o tempo de exposição à condição de estresse não influenciou a temperatura corpórea dessas regiões na primeira semana de vida das aves.

A condição adotada no tratamento C60, de 34°C foi semelhante à condição testada por Malheiros et al. (2000), que expuseram pintos de corte Cobb a 35°C, 25°C e 20°C nos primeiros sete dias de vida. Os autores mensuraram a temperatura superficial das mesmas regiões desta pesquisa, e os resultados observados são semelhantes aos do tratamento C60.

Mesmo os autores tendo adotado temperaturas para a condição de estresse por frio menores do que a da pesquisa para a primeira semana (30°C), as temperaturas corpóreas médias para essas três regiões foram semelhantes para o tratamento com temperatura de 25°C. Cangar et al. (2008), ao expor pintos de corte da linhagem Ross a uma temperatura de 29°C, observaram valores médios semelhantes para a temperatura do dorso das aves. Porém, os autores observaram temperaturas para a região da asa na faixa de 34,9°C e 38,1°C. Neste trabalho, a média dos animais foi de 35°C.

Para todas as regiões corpóreas, a partir da segunda semana do ciclo, houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da interação entre tratamento e as condições estudadas, sendo elas C1 (antes da câmara), C2 (no fim do período experimental) e C3 (30 minutos após o fim da exposição). O desdobramento dessa interação a partir da segunda até a sexta semana, está descrito nas tabelas 27 (asa), 28 (cabeça), 29 (dorso) e pata (30).

Observa-se que houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para os tratamentos E30, E60 e E90 entre as 3 condições estudadas, sendo que os animais conseguiram retornar a sua condição inicial, independente do tempo de exposição ao qual foram submetidos, o que indica que a temperatura corporal é um parâmetro que varia significativamente, quando comparada com outras variáveis fisiológicas, corroborando Souza et al. (2008).

Para todas as semanas, exceto na quinta e sexta, durante o tratamento C60, as aves mantiveram seus valores de temperatura da asa estáveis em todas as condições, conforme pode ser observado na tabela 27.

Dahlke et al. (2005) estudaram 360 frangos, sendo 180 da linhagem Cobb e 180 da linhagem Isa Label durante todo o ciclo de criação em três condições distintas: de termoneutralidade, temperatura quente e temperatura fria, sendo essas definidas por 3 a 9°C acima da temperatura termoneutra. Os autores verificaram uma temperatura da asa média de 33,9°C para a condição termoneutra e de 37,7°C sob estresse térmico. Os valores estão de acordo com os observados na pesquisa para a condição termoneutra da terceira semana, e para a quarta semana, para a condição de estresse por calor, respectivamente.

Tabela 27 - Temperatura da asa para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas para a segunda à sexta semana

Semana	Tratamento	C1	C2	C3
2	C60	35,53 Aa	35,94 Aa	35,64 Aa
	E30	35,02 Aa	32,42 Bb	35,01 Aa
	E60	34,45 Aa	32,23 Bb	34,29 Aa
	E90	35,32 Aa	31,87 Bb	35,20 Aa
3	C60	33,74 Aa	33,60 Aa	33,56 Aa
	E30	33,45 Ab	38,68 Ba	33,67 Ab
	E60	33,43 Ab	38,55 Ba	33,90 Ab
	E90	34,41 Ab	38,56 Ba	33,76 Ab
4	C60	32,21 Aa	30,98 Aa	32,73 Aa
	E30	32,37 Ab	37,69 Ba	32,34 Ab
	E60	32,60 Ab	37,51 Ba	32,73 Ab
	E90	32,75 Ab	37,64 Ba	32,81 Ab
5	C60	30,51 Ba	28,35 Bb	31,57 Aa
	E30	31,29 ABb	36,81 Aa	31,05 Ab
	E60	30,40 ABb	36,92 Aa	31,69 Ab
	E90	31,97 Ab	36,65 Aa	31,29 Ab
6	C60	31,23 Aa	28,90 Bb	30,98 Aa
	E30	31,67 Ab	35,94 Aa	31,02 Ab
	E60	31,80 Ab	36,26 Aa	32,43 Ab
	E90	31,24 Ab	36,24 Aa	31,72 Ab

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Uma explicação para o fato de somente nessas ocasiões os dados serem semelhantes com os de Dahlke et al. (2005), é que os valores médios observados por esses autores refere-se a todo o período de criação. Além disso, os autores estudaram o comportamento fisiológico de duas linhagens com características diferenciadas, sendo a Cobb uma linhagem caracterizada por crescimento rápido, e a Isa Label, uma linhagem de frango colonial, de crescimento lento. A maturação do aparelho termorregulatório dessas linhagens são distintas, e também as respostas frente a uma condição de estresse são diferentes.

Várias pesquisas foram realizadas para verificar a tolerância ao calor de frangos de linhagem de crescimento rápido em comparação a aves de crescimento lento, ou

denominadas linhagens caipiras (YAHAV et al., 1998; SILVA et al., 2001; SILVA et al., 2003). Constataram uma maior tolerância ao calor de aves com menor potencial para ganho de peso, e conseqüente menor empenamento, como por exemplo, aves portadoras do gene pescoço pelado.

Cangar et al. (2008) mensuraram 26 diferentes áreas corporais pelo uso da termografia, durante as seis semanas de criação de 308 frangos da linhagem Ross, variando a temperatura entre 29°C e 23°C ao longo do ciclo, simulando uma condição de 16 aves/ m<sup>2</sup>. Os autores fizeram medidas na porção lateral, na vista dorsal e posicionados por trás dos animais, observando diferenças existentes nas temperaturas, dependendo do método de captação das imagens. Nesta pesquisa, a temperatura da asa foi mensurada em uma posição lateralmente às aves, portanto a comparação foi realizada apenas com essas médias correspondentes dos autores.

As faixas observadas pelos autores foram de 31,3° a 36,9°C; 30,7 a 33,1°C; 29,1 a 30,5°C; 27,6° a 29,6°C e 25,4° a 28°C, para a 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> semana, respectivamente. Portanto, eles observaram valores decrescentes a longo do ciclo, o que também foi observado nesta pesquisa, mesmo sendo utilizados lotes diferentes de aves em cada semana.

A tabela 28 mostra os valores médios para a temperatura da cabeça, pelo desdobramento da interação entre tratamento e condição da 2<sup>a</sup> à 6<sup>a</sup> semana do ciclo de criação.

Para todas as semanas estudadas, houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre a condição de conforto e de estresse. Assim como para a asa, a temperatura da região não sofreu efeito do tempo de exposição, apresentando resultados semelhantes para os tratamentos E30, E60 e E90. Também observa-se que as aves, em todo o ciclo, independente do tratamento, foram capazes de retornar à condição inicial.

Dahlke et al. (2005) relatam valores médios para a cabeça de 37,72°C para frangos aos 42 dias de idade sob estresse térmico, o que está de acordo com o observado neste trabalho. Dados semelhantes também foram relatados para uma condição de termoneutralidade (33,93°C). Cangar et al. (2008) observaram também para a segunda à sexta semana, valores superiores ao desta pesquisa, sendo relatada

uma média de 39°C. Valores próximos a esse só foram observados nas aves nos tratamentos referentes à condição de estresse térmico.

Tabela 28 - Temperatura da cabeça para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas da segunda a sexta semana

Semana	Tratamento	C1	C2	C3
2	C60	35,27 Aa	35,50 Aa	35,34 Aa
	E30	35,03 Aa	31,90 Bb	35,25 Aa
	E60	35,10 Aa	31,73 Bb	34,296 Aa
	E90	35,34 Aa	31,36 Bb	35,08 Aa
3	C60	34,69 Aa	34,41 Aa	35,05 Aa
	E30	35,02 Ab	38,70 Ba	35,06 Ab
	E60	34,72 Ab	38,81 Ba	35,18 Ab
	E90	35,27 Ab	38,88 Ba	34,93 Ab
4	C60	34,41 Aa	33,09 Aa	34,64 Aa
	E30	34,76 Ab	38,44 Ba	34,96 Ab
	E60	34,81 Ab	38,53 Ba	34,62 Ab
	E90	35,11 Ab	38,58 Ba	35,02 Ab
5	C60	34,12 Aa	31,61 Aa	34,83 Aa
	E30	34,62 Ab	38,05 Ba	33,94 Ab
	E60	34,36 Ab	37,88 Ba	34,90 Ab
	E90	35,07 Ab	38,01 Ba	34,59 Ab
6	C60	34,13 Aa	31,67 Bb	33,69 Aa
	E30	34,49 Ab	37,24 Aa	33,57 Ab
	E60	34,15 Ab	37,67 Aa	35,03 Ab
	E90	33,86 Ab	37,70 Aa	34,48 Ab

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Os dados para a segunda semana corroboram Shinder et al. (2007), que ao submeterem pintos de corte ao estresse térmico também pelo frio, mensuraram a temperatura superficial das aves por meio da termografia. Observaram que nos primeiros 15 minutos nota-se uma diminuição considerável da temperatura superficial dos animais. Os autores explicam que essa rápida alteração deve-se à vasoconstrição periférica imediata, e que ela se mantém estável até os 90 minutos de exposição, sofrendo alterações significativas após esse período. Como neste trabalho o tempo

máximo de exposição adotado foi de 90 minutos, essa resposta não pôde ser observada.

Os dados médios referentes ao desdobramento da interação tratamento e condição para a temperatura do dorso são apresentados na tabela 29.

Tabela 29 - Temperatura do dorso para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas da segunda a sexta semana

Semana	Tratamento	C1	C2	C3
2	C60	36,84 Aa	36,68 Aa	36,63 Aa
	E30	36,52 Aa	33,65 Bb	36,32 Aa
	E60	35,99 Aa	33,62 Bb	35,91 Aa
	E90	36,59 Aa	33,43 Bb	36,56 Aa
3	C60	35,95 Aa	35,61 Aa	36,11 Aa
	E30	36,08 Ab	39,57 Aa	36,02 Ab
	E60	35,58 Ab	39,41 Ba	36,14 Ab
	E90	36,41 Ab	39,50 Aa	36,38 Ab
4	C60	33,94 Aa	32,35 Ba	33,93 Aa
	E30	34,36 Ab	38,52 Aa	34,06 Ab
	E60	34,30 Ab	38,45 Aa	34,51 Ab
	E90	34,44 Ab	38,49 Aa	34,63 Ab
5	C60	32,29 Aa	31,06 Ba	33,56 Aa
	E30	32,49 Ab	37,43 Aa	31,92 Ab
	E60	32,48 Ab	37,58 Aa	32,80 Ab
	E90	32,98 Ab	37,45 Aa	33,14 Ab
6	C60	32,62 Aa	30,75 Bb	31,98 Aa
	E30	32,71 Ab	36,50 Aa	32,18 Ab
	E60	32,59 Ab	36,73 Aa	33,07 Ab
	E90	32,19 Ab	36,97 Aa	32,54 Ab

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

A temperatura do dorso também apresentou diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) apenas entre a condição de conforto e de estresse, não havendo diferenças em relação ao tempo de exposição. As aves foram capazes de retornar a condição inicial após 30 minutos do fim da exposição.

Richards (1970) relatou temperaturas na região do dorso entre 39°C (para uma temperatura do ar de 20°C), e 41,3°C (sob uma temperatura de 40°C), após 60 minutos de exposição das aves. Os resultados foram superiores ao deste trabalho, e isso deve-se ao fato do autor ter feito mensurações diretamente na superfície da pele do animal, e na pesquisa realizou-se a medição na superfície coberta por penas, evitando ao máximo a manipulação dos animais.

Cangar et al. (2008), com o auxílio da termografia, verificaram temperaturas médias do dorso para aves da linhagem Ross aos 10 e aos 15 dias, sob condição de conforto térmico iguais a 35,3°C e 36,3°C, respectivamente. Esses valores corroboram o observado nesta pesquisa para as semanas 2 e 3, no tratamento C60. A partir da quarta semana, os valores relatados pelos autores são superiores aos encontrados neste trabalho, provavelmente devido à temperatura considerada para a condição de conforto, sendo essa entre 29° e 23°C para a pesquisa citada e de 25,5°C, 23°C e 22,5°C, para a 4ª, 5ª e 6ª semanas deste trabalho.

Outra observação relevante está de acordo com Mutaf et al. (2008), que ao estudarem a temperatura superficial de poedeiras sob diferentes condições térmicas, observaram que as temperaturas das regiões cobertas por penas se aproximaram da temperatura de bulbo seco.

As linhagens diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ) na quarta semana de criação, sendo que a Avian apresentou uma média de 34,99°C, e a linhagem Cobb, 35,34°C. A linhagem Cobb apresentou média ligeiramente superior à Avian, igual a 0,35°C. Segundo Zhou et al. (1999), a temperatura do dorso relaciona-se com o estado de hidratação das aves, e aves com um estado de desidratação apresentam temperaturas do dorso superiores aos animais hidratados. Além disso, os autores afirmam que a desidratação está intrinsicamente relacionada com a temperatura cloacal e com a frequência respiratória. Portanto, espera-se que animais desidratados apresentem não somente maiores temperaturas da região do dorso, mas também uma menor FR, menor temperatura da pata e maior temperatura cloacal.

Na pesquisa, para a quarta semana, como previamente descrito, não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre as linhagens em relação a essas variáveis,

portanto, não é possível afirmar que os animais apresentavam um caso de desidratação.

A diferença, porém, pode estar relacionada com o fluxo sanguíneo superficial nesta região, ou com o empenamento, uma vez que, se as aves Cobb apresentaram menor empenamento, conseqüentemente apresentaram uma maior temperatura no dorso, devido à maior quantidade de pele exposta. Mas características de empenamento não foram analisadas neste trabalho.

Em relação ao sistema circulatório, a linhagem Avian pode ter apresentado um menor fluxo sanguíneo na superfície da pele, o que está diretamente relacionado com as trocas de calor sensíveis. Quanto menor fluxo sanguíneo, menores as possibilidades de trocas sensíveis, o que acarreta que, em condições de estresse por altas temperaturas, os animais tenham que realizar trocas latentes, devido à ineficiência dos meios sensíveis. Portanto, esses resultados podem indicar uma pequena desvantagem da linhagem Avian em relação às perdas sensíveis pela região do dorso, o que pode ser confirmado pelo balanço de calor de ambas as linhagens.

Duas regiões desprovidas de penas foram selecionadas para a mensuração da temperatura superficial das aves, sendo elas a pata e a crista. A região da crista foi mensurada a partir da quarta semana de criação, período em que ela se torna mais evidente.

Para a 2ª a 6ª semana, houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da interação entre tratamento e condição para a região da pata. O desdobramento dessas interações é apresentado na tabela 30.

A região da pata também apresentou diferença significativa ( $P < 0,05$ ) a partir da segunda semana entre o tratamento C60 e os tratamentos E30, E60 e E90. Não houve variação da temperatura em relação ao tempo de exposição ( $P > 0,05$ ), ou seja, os animais apresentaram respostas similares sob 30, 60 ou 90 minutos na condição de estresse térmico. Isso foi observado tanto sob estresse térmico pelo frio (na 2ª semana), quanto para as demais, em que as aves foram submetidas ao estresse térmico por calor.



Tabela 30 - Temperatura da pata para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas para a segunda até a sexta semana

Semana	Tratamento	C1	C2	C3
2	C60	31,69 Aa	33,34 Aa	32,57 Aa
	E30	31,42 Aa	27,20 Bb	31,67 Aa
	E60	30,79 Aa	27,19 Bb	30,43 Aa
	E90	32,20 Aa	27,19 bb	31,34 Aa
3	C60	31,51 Aa	31,62 Ba	31,69 Aa
	E30	31,48 Ab	37,58 Aa	31,53 Ab
	E60	31,60 Ab	37,96 Aa	31,36 Ab
	E90	31,67 Ab	37,82 Aa	32,10 Ab
4	C60	31,54 Aa	30,12 Ba	31,41 Aa
	E30	32,00 Ab	37,64 Aa	32,26 Ab
	E60	31,99 Ab	37,46 Aa	31,92 Ab
	E90	32,12 Ab	37,92 Aa	32,47 Ab
5	C60	30,68 Ab	28,27 Bc	32,55 Aa
	E30	31,23 Ab	36,37 Aa	31,41 Ab
	E60	31,32 Ab	36,85 Aa	31,90 Ab
	E90	32,56 Ab	36,86 Aa	31,63 Ab
6	C60	31,69 Aa	29,13 Bb	31,02 Aa
	E30	31,82 Ab	36,33 Aa	31,86 Ab
	E60	31,77 Ab	36,92 Aa	32,70 Ab
	E90	30,97 Ab	36,59 Aa	32,24 Ab

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

Os animais também retornaram ao seu estado inicial após 30 minutos do fim da exposição, independente da semana e do tratamento estudado, o que mostra que a temperatura superficial corpórea é alterada rapidamente frente a diferentes condições ambientais. A temperatura dessa região diminuiu (na condição de conforto) no decorrer das semanas de criação, o que corrobora o observado por Richards (1970), que afirmou que a temperatura superficial varia de acordo com a idade dos animais.

Os resultados estão de acordo com Dahlke et al. (2005), que observaram diferenças significativas entre uma condição termoneutra e de estresse térmico por calor. Os autores ainda ressaltam que a linhagem Cobb apresentou temperatura da pata superior à linhagem Isa Label, o que indica que linhagens de crescimento rápido

são menos tolerantes ao calor quando comparadas com as chamadas linhagens coloniais; estão de acordo também com Cangar et al. (2008), sendo as temperaturas médias para essa região similares às desta pesquisa a partir da 3ª semana do ciclo de criação.

A pata é considerada um importante órgão vasomotor, fundamental para as trocas de calor sensíveis de frangos de corte (SHINDER et al., 2007). Ou seja, é uma região que apresenta elevada sensibilidade frente às variações ambientais. Sob condições de estresse por frio, essa região sofre uma rápida constrição dos vasos periféricos, diminuindo o fluxo sanguíneo, numa tentativa de evitar ao máximo perdas sensíveis, o que pôde ser observado para a 2ª semana do ciclo. Por outro lado, em condições de elevadas temperaturas, a pata sofre vasodilatação, para maximizar essas trocas.

As respectivas temperaturas médias da pata em condição de estresse por calor foram bastante próximas da temperatura do ar adotada em cada uma das semanas, sendo um indício da diminuição da eficiência das trocas sensíveis, pela diminuição do diferencial de temperatura ( $\Delta T$ ) entre o ar e a superfície do animal.

As linhagens apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para essa região no início do ciclo, na 1ª e na 2ª semana de vida. Na primeira semana, além da linhagem, houve diferença significativa entre linhagem e tratamento, ou seja, a resposta das linhagens está diretamente relacionada com os tratamentos aos quais foram submetidas, de acordo com a figura 8.

Pode-se observar pela figura abaixo que as linhagens apresentaram diferença significativa ( $P < 0,05$ ) apenas no tratamento E30, em que a linhagem Cobb foi ligeiramente mais sensível do que a Avian em um período curto de exposição ao frio. O mesmo não foi observado nos outros tratamentos, uma vez que as aves apresentaram valores médios não-significativos ( $P > 0,05$ ) para 60 e 90 minutos de exposição.

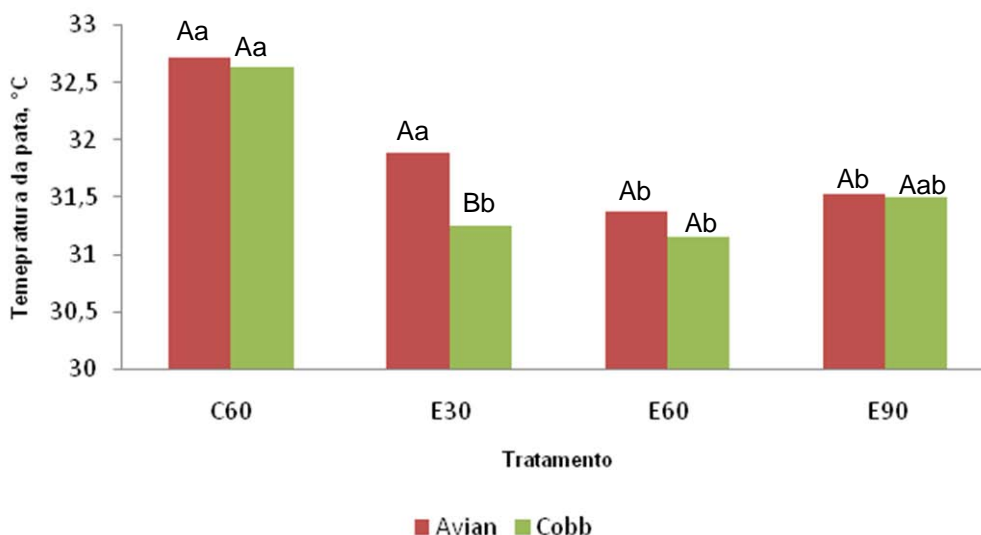


Figura 8 - Temperaturas médias da pata para a interação linhagem e tratamento, para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb na primeira semana de vida. Médias com letras diferentes (maiúsculas entre as linhagens e minúsculas entre os tratamentos) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo teste de Tukey

Em relação a cada uma das linhagens, para os diferentes tratamentos, a Avian diferiu apenas nos tratamentos C60 e E30 em relação ao E60 e E90, com menores temperaturas nos dois últimos. A linhagem Cobb diferiu ( $P < 0,05$ ) nos tratamentos E30 e E60, em relação a E60, que não diferiu de E90. Esses resultados sugerem que talvez sob maiores tempos de exposição, se poderia ter respostas significativas entre as linhagens. Os dados, apesar dessas diferenças, corroboram o observado por Malheiros et al. (2000), que relataram médias entre 32,5°C a 36°C a uma temperatura de 35°C, e entre 29,7°C e 32,3°C a 25°C de temperatura do ar, o que está de acordo com o tratamento C60, e com os tratamentos E30, E60 e E90, respectivamente.

Na segunda semana, porém, houve diferença entre as linhagens ( $P < 0,05$ ), independente dos tratamentos e das condições adotadas. Nessa fase do ciclo, a linhagem Cobb apresentou temperatura média da pata superior a Avian ( $P < 0,05$ ), sendo essa de 30,48°C e 30,24°C para a Avian, o que pode indicar uma menor vasoconstrição periférica e, conseqüentemente, menores perdas de calor por meios sensíveis. Apesar da análise estatística ter considerado essa diferença entre as duas linhagens significativa, esta foi de apenas 0,24°C, o que não foi observado nas variáveis fisiológicas FR e  $T_{clo}$  para essa semana do ciclo de criação.

Porém, esses resultados não acarretam necessariamente numa menor tolerância ao estresse térmico da linhagem Avian, uma vez que, para isso, os dados de FR e de temperatura cloacal deveriam ter sido significativos entre as linhagens.

A temperatura da crista apresentou resultados significativos para a interação entre tratamentos e condições, para a 4ª até a 6ª semana. O desdobramento dessas interações está descrito na tabela 31.

Tabela 31 - Temperatura da crista para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 para as três condições estudadas para a quarta até a sexta semana

Semana	Tratamento	C1	C2	C3
4	C60	34,58 Aa	32,34 Bb	33,91 Aab
	E30	34,42 Ab	38,04 Aa	34,32 Ab
	E60	34,40 Ab	38,04 Aa	34,58 Ab
	E90	35,09 Ab	38,45 Aa	35,03 Ab
5	C60	34,16 Aa	30,45 Bb	34,49 Aa
	E30	33,96 Aa	37,08 Aa	33,79 Aa
	E60	33,68 Ac	37,13 Aa	35,00 Ab
	E90	34,37 Aa	37,81 Aa	33,99 Ab
6	C60	35,04 Aa	30,70 Bb	34,76 Aa
	E30	35,58 Aa	36,92 Aa	34,81 Aa
	E60	35,46 Aa	37,40 Aa	36,17 Ab
	E90	35,43 Aa	37,11 Aa	35,19 Ab

Médias com letras diferentes (maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas) indicam diferenças estatísticas ( $P < 0,05$ ) para cada uma das semanas pelo Teste de Tukey

As aves, em relação à temperatura da crista, também diferiram ( $P < 0,05$ ) apenas entre o tratamento C60 (condição de conforto) e os demais, E30, E60 e E90 (condição de estresse). A exemplo da temperatura da pata, o tempo de exposição não influenciou a resposta dos animais. Também observa-se que os animais retornaram a condição C1 inicial, em todos os tratamentos.

Zhou et al. (1999), ao estudarem a temperatura superficial da crista de frangos aos 70 dias de idade, em uma condição de estresse térmico (30°C, 60 a 70% UR), relataram um aumento significativo nos primeiros 60 minutos de exposição, e uma posterior estabilização, atingindo os 39,7°C após 180 minutos de exposição contínua. Os resultados também estão de acordo com o observado por Cangar et al. (2008),

sendo semelhantes para a quarta semana nos tratamentos de estresse (E30, E60 e E90), e na 5<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup>, semelhantes à condição de conforto desta pesquisa.

A diferença desses resultados é que, no experimento citado acima, as aves permaneceram em câmara climática durante os 42 dias de criação, com uma variação de 29°C para 23°C ao longo das seis semanas, o que acarretou a aclimatação dos animais. Nesta pesquisa, porém, as aves eram submetidas às temperaturas apenas nos dias de coleta, para avaliação do efeito instantâneo do aumento de temperatura nos parâmetros fisiológicos das aves. Essa observação está de acordo com Yahav e Hurwitz (1996), que afirmaram que aves submetidas à aclimatação apresentam menores temperaturas superficiais.

As aves apresentam como característica o sistema circulatório do tipo contracorrente, sendo possível que diferentes regiões corporais apresentem variações consideráveis de temperatura. As patas são regiões representativas dessa peculiaridade, por ser uma região com elevada vascularização. Devido a isso, existem artérias que ficam próximas a veias de calibre semelhante, portanto, ocorrem trocas por condução entre elas, por meio de anastomoses arteriovenosas. O sangue arterial mais aquecido transmite energia térmica para as veias. Numa situação de estresse térmico pelo frio, a temperatura da pata diminui e, sob estresse por calor, aumenta. Mantendo uma temperatura próxima da temperatura do ar, as aves evitam perdas e ganhos de calor, respectivamente, que seriam prejudiciais para as tentativas de manutenção da homeotermia.

Os parâmetros de temperatura superficial não podem ser utilizados para a verificação do estado de estresse ou conforto dos animais, e sim, pela correlação com parâmetros ambientais, tem-se uma aproximação da sensação térmica dos animais sob diferentes condições, concordando com Cangar et al. (2008).

As diferenças observadas nas linhagens, nas diferentes semanas de estudo, indicam a necessidade de pesquisas com maiores tempos de exposição, para verificar se essas diferenças se mantêm ao longo do tempo. Ou ainda, pela realização de estudos sobre uma exposição intermitente, por exemplo, com observações a cada 30 minutos dentro dos períodos experimentais de 60 e 90 minutos, para verificar se há

estabilização das variáveis fisiológicas, ou se elas são as mesmas ao longo desses períodos.

Talvez as condições de estresse adotadas na pesquisa não foram suficientemente eficazes para causar estresse nas aves. Outra explicação pode ser referente aos tempos de exposição estipulados, não sendo suficientes para detectar alterações fisiológicas nas aves.

A temperatura superficial das diferentes regiões estudadas será utilizada para a elaboração de equações de regressão para o cálculo da temperatura superficial média (TSM) ao longo das seis semanas de criação.

#### **4.3.2 Equações de Regressão**

Os dados da temperatura superficial de frangos de corte das regiões corporais da asa, cabeça, pata, dorso e crista das linhagens Avian e Cobb foram estudados por análise descritiva, para a estimativa de modelos de regressão linear múltipla para cada uma das semanas, para cada linhagem.

Para a elaboração dos modelos, adotou-se como critério a verossimilhança, baseada no critério de Akaike. Com isso, pôde-se selecionar dentre todos os modelos possíveis, qual o mais adequado para cada uma das linhagens estudadas, em relação a cada semana de produção.

Observou-se, que para o cálculo da TSM de frangos de corte, os modelos ideais foram os que incluíam todas as variáveis, sendo necessária, no mínimo, a mensuração de três regiões corporais das aves.

A tabela 32 apresenta os modelos de regressão linear múltipla e os  $R^2$  ajustados para a estimativa da TSM para frangos de corte durante todo o ciclo de criação, obtidos pelo procedimento *procREG* do programa SAS® (SAS, 2009).

Tabela 32 - Modelos de regressão linear múltipla para o cálculo da TSM Nascimento para as linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação

Semana	Linhagem	Modelo	Pr > F	R <sup>2</sup> ajustado
1 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,17.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,12.Tpata + 0,41.Tdorso + 7,57	<0,0001*	0,73
	Cobb	TSM = 0,11.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,15.Tpata + 0,56.Tdorso + 3,47	<0,0001*	0,80
2 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,08.Tasa + 0,07.Tcabeça + 0,18.Tpata + 0,53.Tdorso + 5,92	<0,0001*	0,77
	Cobb	TSM = 0,07.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,16.Tpata + 0,47.Tdorso + 7,50	<0,0001*	0,74
3 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,18.Tasa + 0,13.Tpata + 0,56.Tdorso + 2,97	<0,0001*	0,79
	Cobb	TSM = 0,23.Tasa + 0,13.Tcabeça + 0,60.Tdorso	<0,0001*	0,77
4 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,20.Tasa+0,16.Tcabeça+0,11.Tpata+0,49.Tdorso+ 0,05.Tcrista	<0,0001*	0,82
	Cobb	TSM = 0,27.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,07.Tpata + 0,45.Tdorso	<0,0001*	0,76
5 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,45.Tasa + 0,08.Tpata + 0,36.Tdorso + 0,13.Tcrista	<0,0001*	0,81
	Cobb	TSM = 0,46.Tasa + 0,07.Tpata + 0,32.Tdorso + 0,12.Tcrista	<0,0001*	0,82
6 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,30.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,52.Tdorso + 0,10.Tcrista	<0,0001*	0,83
	Cobb	TSM = 0,27.Tasa+0,10.Tcabeça+0,05.Tpata+0,50.Tdorso+0,10.Tcrista	<0,0001*	0,81

\*significativo ao nível de 5% de probabilidade

Com essas equações, foram realizadas as comparações entre TSM Richards e TSM Nascimento.

Foram obtidos, no decorrer da pesquisa, aproximadamente 6900 dados de mensurações de temperatura superficial dos animais. Portanto, para a estimativa e representação gráfica dos modelos de regressão, foram realizadas médias a cada 20 pontos de temperaturas superficiais, devido ao grande número de dados, e para facilitar a visualização gráfica. Comparou-se, portanto, a equação de TSM Nascimento para cada linhagem, com a eq. (1), de TSM proposta por Richards (1971), o que pode ser visualizado nas figuras de 9 a 11.

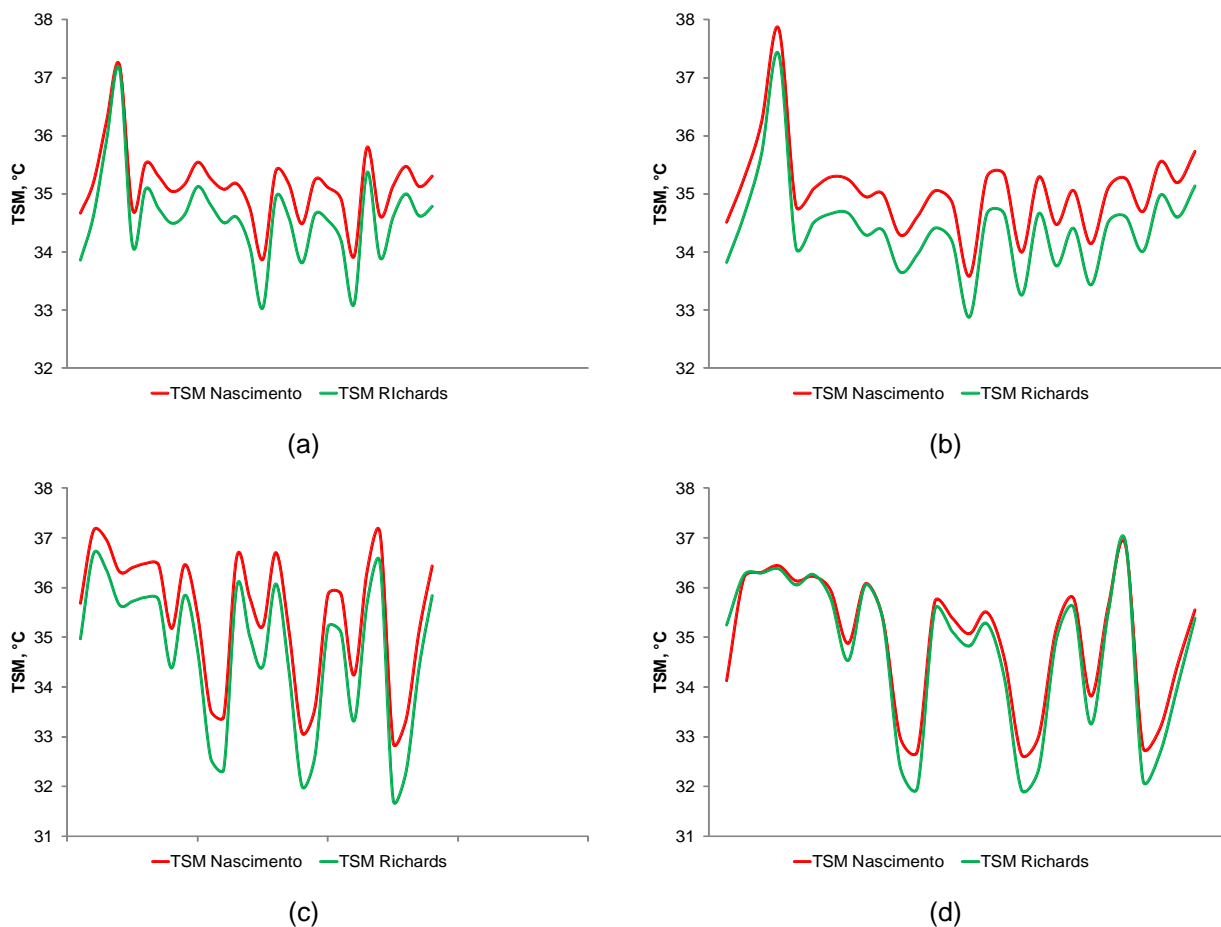


Figura 9 - Comparação entre as equações de regressão adotadas para o cálculo da TSM: TSM Nascimento e TSM Richards – (a) linhagem Avian e (b) linhagem Cobb na 1ª semana do ciclo; (c) linhagem Avian e (d) linhagem Cobb na 2ª semana de vida

Observa-se que para as 1ª e 2ª semanas do ciclo de criação (figuras 9 – a, b, c e d), a estimativa da TSM pela equação de Richards é sempre menor em comparação à TSM Nascimento. Isso pode ter ocorrido, uma vez que os pesos atribuídos para cada uma das regiões corporais diferem entre as equações. Além disso, ressalta-se que Richards estimou sua equação a partir das temperaturas superficiais de aves adultas, que apresentam uma relação diferente quanto à área corporal das aves no início do ciclo. Apesar disso, verificou-se que para ambas as linhagens são necessárias as mensurações das regiões do dorso, asa, pata e cabeça.



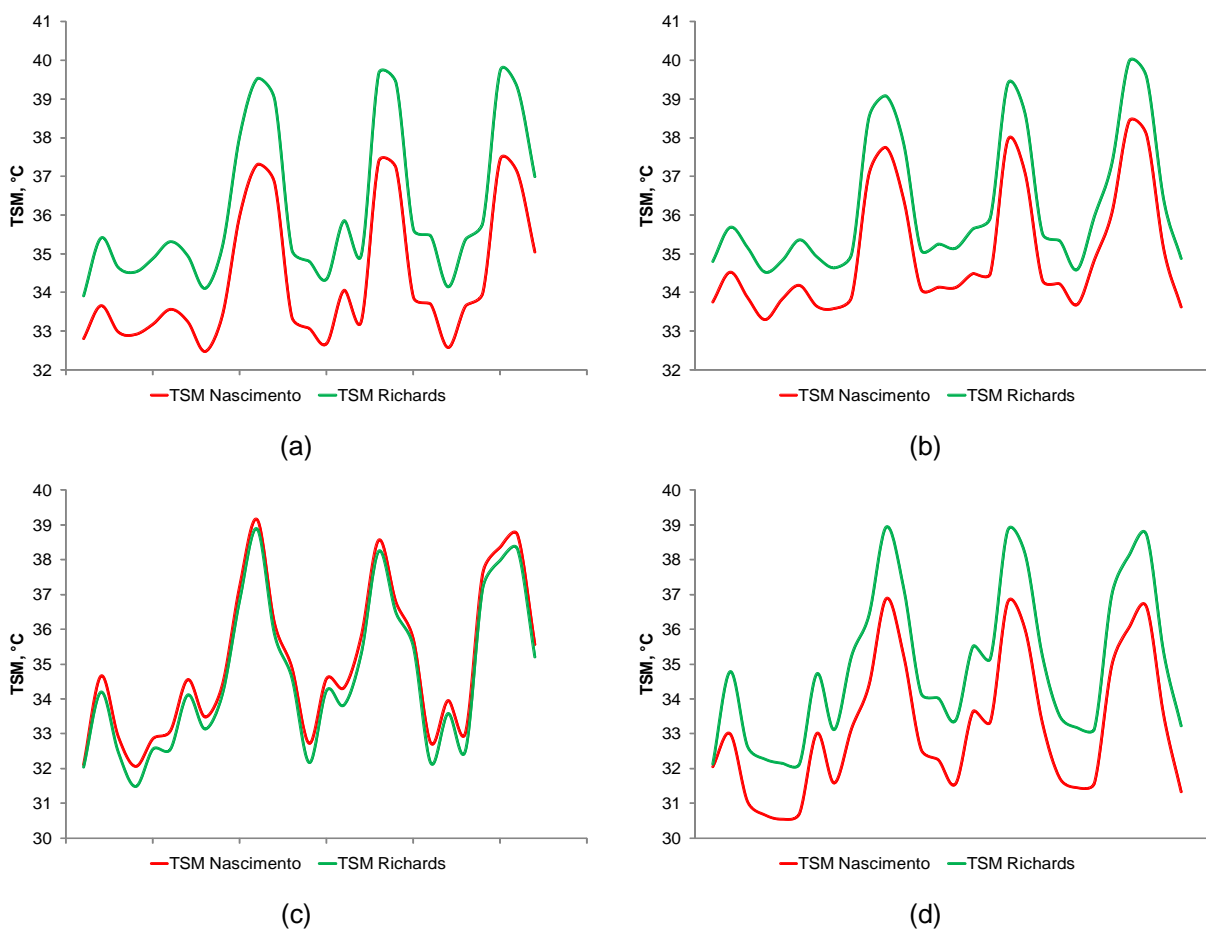


Figura 10 - Comparação entre as equações de regressão adotadas para o cálculo da TSM: TSM Nascimento e TSM Richards – (a) linhagem Avian e (b) linhagem Cobb na 3ª semana do ciclo; (c) linhagem Avian e (d) linhagem Cobb na 4ª semana de vida

Na 3ª semana (figuras 10 a e b), verifica-se que a TSM Nascimento é ligeiramente menor em comparação com a TSM Richards. Para a linhagem Avian, o modelo ideal para cálculo da TSM Nascimento envolve as quatro regiões corporais, e para a Cobb, o modelo engloba apenas as regiões da asa, cabeça e dorso, sendo a pata a única região não significativa.

Para a 4ª semana do ciclo de criação (figuras 10 - c e d), verifica-se que o modelo para a linhagem Avian inclui as cinco regiões corporais, incluindo, neste caso, a região da crista, que representa 5% da temperatura corpórea das aves. Por outro lado, para a linhagem Cobb, a região da crista não foi significativa no modelo, sendo adotadas as quatro regiões corporais. A linhagem Avian apresentou um perfil semelhante para as 3 TSM estudadas. Já para a Cobb, a TSM Nascimento foi ligeiramente menor em comparação com a TSM Richards.

Na 5ª semana (figuras 11 – a e b), semelhante à quarta, o modelo de TSM Nascimento para ambas as linhagens inclui a região da crista, e a cabeça foi a única região corporal não significativa. O modelo para a 6ª semana da linhagem Avian (figura 11 c) inclui, por sua vez, as regiões da asa, cabeça, dorso e crista. E para a linhagem Cobb (figura 12 d), todas as cinco regiões corporais precisam ser inclusas no modelo de TSM Nascimento. Para as duas últimas semanas, foram observados perfis semelhantes de TSM entre os três modelos adotados, o que corrobora a melhor aplicação do modelo de Richards apenas para aves adultas. E que para aves jovens, os modelos de regressão linear múltipla denominados TSM Nascimento podem ser adotados.

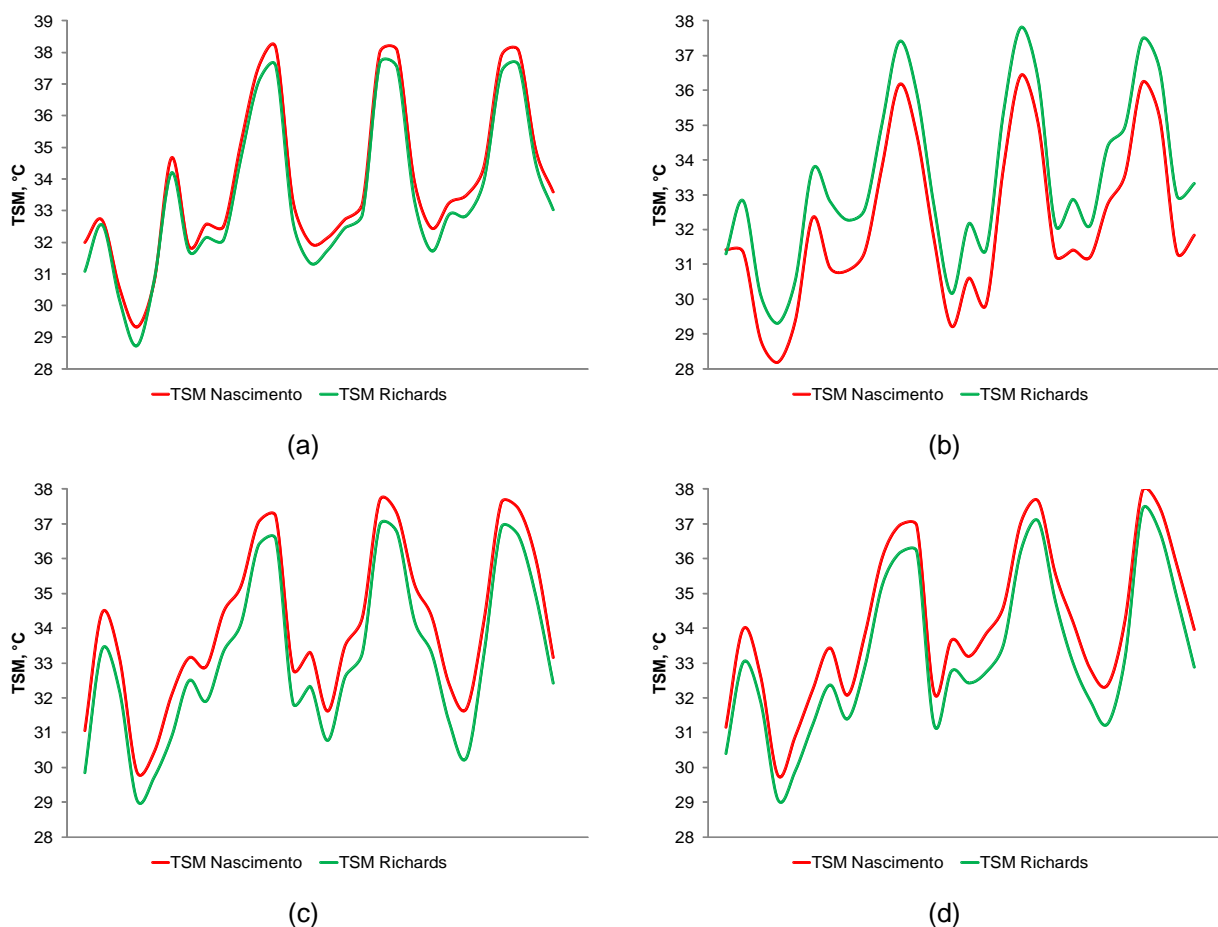


Figura 11 - Comparação entre as equações de regressão adotadas para o cálculo da TSM: TSM Nascimento e TSM Richards – (a) linhagem Avian e (b) linhagem Cobb na 5ª semana do ciclo; (c) linhagem Avian e (d) linhagem Cobb na 6ª semana de vida

#### 4.4 Conclusões Parciais

- Os modelos de regressão linear múltipla foram determinados para cada semana de criação, considerando as temperaturas da pata, asa, dorso, cabeça e crista das aves. Considerou-se TSM Nascimento como o novo modelo para a determinação da temperatura superficial média, conforme descrito a seguir:

TSM Nascimento (°C)	
Semana	Avian
1 <sup>a</sup>	$TSM = 0,17.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,12.Tpata + 0,41.Tdorso + 7,57$
2 <sup>a</sup>	$TSM = 0,08.Tasa + 0,07.Tcabeça + 0,18.Tpata + 0,53.Tdorso + 5,92$
3 <sup>a</sup>	$TSM = 0,18.Tasa + 0,13.Tpata + 0,56.Tdorso + 2,97$
4 <sup>a</sup>	$TSM = 0,20.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,11.Tpata + 0,49.Tdorso + 0,05.Tcrista$
5 <sup>a</sup>	$TSM = 0,45.Tasa + 0,08.Tpata + 0,36.Tdorso + 0,13.Tcrista$
6 <sup>a</sup>	$TSM = 0,30.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,52.Tdorso + 0,10.Tcrista$
Semana	Cobb
1 <sup>a</sup>	$TSM = 0,11.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,15.Tpata + 0,56.Tdorso + 3,47$
2 <sup>a</sup>	$TSM = 0,07.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,16.Tpata + 0,47.Tdorso + 7,50$
3 <sup>a</sup>	$TSM = 0,23.Tasa + 0,13.Tcabeça + 0,60.Tdorso$
4 <sup>a</sup>	$TSM = 0,27.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,07.Tpata + 0,45.Tdorso$
5 <sup>a</sup>	$TSM = 0,46.Tasa + 0,07.Tpata + 0,32.Tdorso + 0,12.Tcrista$
6 <sup>a</sup>	$TSM = 0,27.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,05.Tpata + 0,50.Tdorso + 0,10.Tcrista$

- Houve diferenças significativas nas temperaturas superficiais das diferentes regiões corporais estudadas, quando as aves foram submetidas à condição de conforto e estresse para ambas as linhagens;
- Com relação ao tempo de exposição ao estresse térmico, não houve diferenças significativas nas variações das temperaturas superficiais das aves para as diferentes linhagens.

## Referências

CANGAR, O.; AERTS, J.M.; BUYSE, J.; BERCKMANS, D. Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. **Poultry Science**, Champaign, v.87, p.2493-2499, 2008.

DAHLKE, F.; GONZALES, E.; FURLAN, R.L.; GADELHA, A.; MAIORKA, A.; FARIA FILHO, D.E.F.; ROSA, P.S. Efeito da temperatura ambiente sobre hormônios tireoideanos, temperatura corporal e empenamento de frangos de corte, fêmeas, de diferentes genótipos. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, São Paulo, v.27, n.3, p. 391-397, 2005.

FLUKE CORPORATION. **566/ 568 Manual do Usuário**. Disponível em: <<http://www.fluke.com.br/fluke/BRPT/Term%C3%B3metros/Fluke-568-566.htm?PID=56090>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.2, p. 31-87.

MALHEIROS, R.D.; MORAES, V.M.B.; BRUNO, L.D.G.; MALHEIROS, E.B.; FURLAN, R.L.; MACARI, M. Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch. **Journal of Applied Poultry Science**, Stanford, v.9, p. 111-117, 2000.

MUTAF, S.; SEBER KAHRAMAN, N.; FIRAT, M.Z. Surface wetting and its effect on body and surface temperatures of domestic laying hens at different thermal conditions. **Poultry Science**, Champaign, v.87, p.2441-2450, 2008.

PEREIRA, C.L. **Avaliação do conforto térmico e do desempenho de frangos de corte confinados em galpões avícolas com diferentes tipos de coberturas**. 2007. 113p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

RICHARDS, S.A. The role of hypothalamic temperature in the control of panting in the chicken exposed to heat. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 211, p. 341-348, 1970.

RICHARDS, S.A. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 216, p. 1-10, 1971.

SAS INSTITUTE. **SAS OnlineDoc® 9.2**. Cary, 2009.

SHINDER, D.; RUSAL, M.; TANNY, J.; DRUYAN, S.; YAHAV, S. Thermoregulatory responses of chicks (*Gallus domesticus*) to low ambient temperatures at an early age. **Poultry Science**, Champaign, v.86, p.2200-2209, 2007.

SILVA, E.; YANAGI Jr., T.; BRAGA Jr., R.A.; LOPES, M.A.; DAMASCENO, F.A.; SILVA, G.C.A. Desenvolvimento e validação de um modelo matemático para o cálculo da área superficial em frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n.1, v.29, p.1-7, 2009.

SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M.S.; MARTINS, E.; COELHO, A.A.D.; SAVINO, V.J.M. Resistência ao estresse calórico em frangos de pescoço pelado. **Revista Brasileira de Ciências Avícolas**, Campinas, n.1, v.3, p. 27-33, 2001.

SILVA, M.A.N.; HELLMEISTER, P.; ROSÁRIO, M.F.; COELHO, A. A. D.; SAVINO, V.J. M.; GARCIA, A.A.F.; SILVA, I.J.O.; MENTEN, J.F.M. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, a condição fisiológica e o comportamento de linhagens para frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.1, p. 208-213, 2003.

SILVA, M.A.N.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; SILVA, C.J.M.; SILVA, I.J.O.; COELHO, A.D.; SAVINO, J.M. Avaliação do estresse térmico em condição simulada de transporte de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.4, p.1126 - 1130, 2007 (supl).

YAHAV, S.; HURWITZ, S. Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. **Poultry Science**, Champaign, v.75, n.3, p.402-405, 1996.

YAHAV, S.; LUGER D.; CAHANER A.; DOTAN M.; RUSAL M.; HURWITZ S. Thermoregulation in naked neck chickens subjected to different ambient temperatures. **British Poultry Science**, Abingdon, n. 39, p. 133–138, 1998.

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**, Champaign, v.83, p.253-258, 2004.

YANAGI, T.; Jr., XIN, H.; GATES, R.S. Modeling partial surface evaporative cooling of chickens. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2001. Sacramento. **Meeting...** St Joseph: ASAE, 2001. paper no. 01-3011.

ZHOU, W.T.; FUJITA, M.; YAMAMOTO, S. Thermoregulatory responses and blood viscosity in dehydrated heat-exposed broilers (*Gallus domesticus*). **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.24, p. 185-192, 1999.

## **5 BALANÇO E AVALIAÇÃO DO PERFIL DAS TROCAS DE CALOR EM FRANGOS DE CORTE SUBMETIDOS A CONDIÇÕES DE CONFORTO E ESTRESSE**

### **Resumo**

Os processos de trocas de calor entre o animal e o meio ambiente circundante podem ser descritos através de equações de transferência de calor. Modelos que levam em consideração características do animal, como temperatura do núcleo corporal e temperatura superficial, e propriedades do ar. Com isso, os objetivos deste trabalho foram: efetuar o balanço de calor (latente e sensível) para as linhagens Avian e Cobb; e traçar um perfil das trocas de calor ao longo do ciclo de criação de frangos de corte, submetidos a condições de conforto e estresse térmico. O experimento foi realizado em câmara climática, com duas linhagens comerciais (Avian e Cobb), durante as seis semanas do ciclo de criação, sendo as aves expostas a duas condições climáticas (conforto e estresse), em três tempos distintos de exposição, de 30, 60 e 90 minutos, em quatro tratamentos: conforto com 60 minutos de exposição (C60); estresse com 30 minutos de exposição (E30); estresse com 60 minutos de exposição (E60); estresse com 90 minutos de exposição (E90). Foram calculadas as trocas por meios sensíveis, sendo estas as trocas por radiação e convecção, e as trocas latentes (evaporativas). Verificou-se que as linhagens apresentaram maior susceptibilidade ao estresse térmico durante a terceira semana do ciclo, e que, sob condição de estresse, as trocas evaporativas respondem por até 84% do total, o que comprova a ineficácia das trocas sensíveis nesta situação. Em condição de conforto, as trocas por meios sensíveis correspondem aproximadamente a 80% do total. O tempo de exposição não influenciou a resposta dos animais, apresentando valores médios semelhantes frente a uma exposição de 30, 60 ou 90 minutos.

Palavras-chave: Ambiente controlado; Trocas sensíveis; Trocas latentes

## **BALANCE AND ASSESSMENT OF THE PROFILE OF BROILER CHICKENS HEAT EXCHANGES SUBMITTED TO COMFORT AND STRESS CONDITIONS**

### **Abstract**

Heat exchanges processes among animal and surrounding environment can be described through heat transference equations. Models which consider animals characteristics, as body core temperature and superficial temperature, and air properties. The objectives of this work were: to make heat balance (latent and sensible) to Avian and Cobb strains; and to make a profile of heat exchanges through broiler chickens lifecycle, submitted to comfort and thermal stress conditions. Experiment was conducted in a climatic chamber, with two commercial strains (Avian and Cobb), during the six weeks of lifecycle, with the birds exposed to two climatic conditions (comfort and stress), in three distinct exposure times, of 30, 60 and 90 minutes, in four treatments: comfort with 60 minutes of exposure (C60); stress with 30 minutes of exposure (E30); stress with 60 minutes of exposure (E60); stress with 90 minutes of exposure (E90). Were calculated the exchanges by radiation and convection, named as the sensible mechanisms, and latent exchanges (evaporative mechanisms). It was verified that strains showed a higher susceptibility to thermal stress during the third week of lifecycle, and that under stress condition, evaporative exchanges represent up to 84% of the total, which proves the inefficiency of sensible exchanges in these situations. In comfort condition, the exchanges by sensible mechanisms represent up to 80% of the total, approximately. Time of exposure did not influence the answer of the animals, showing similar medium values to the exposure of 30, 60 or 90 minutes.

Keywords: Controlled environment; Sensible exchanges; Latent exchanges

## 5.1 Introdução

As aves, como animais homeotermos, mantêm a temperatura corporal dentro de uma faixa de temperatura bastante estreita. Qualquer alteração da temperatura corporal devido a uma exposição ao estresse térmico ou pelo aumento significativo da taxa metabólica, pode levar os animais a executarem mecanismos termorregulatórios irreversíveis (YAHAV, 2009).

Durante a exposição das aves ao calor, o sistema cardiovascular redistribui o fluxo sanguíneo corporal, fazendo com que os órgãos e tecidos mais significativos para as trocas de calor recebam um maior suplemento sanguíneo (RICHARDS, 1970; YAHAV, 2009).

O calor pode ser dissipado para o ambiente por dois mecanismos principais, conforme definido por Maia (2005): por meios sensíveis, ou as denominadas “trocas secas”, caracterizadas pela radiação e convecção; por meios latentes, caracterizado pela transferência de calor pela evaporação. As trocas sensíveis ocorrem devido ao gradiente de temperatura entre a superfície do animal e o ambiente, e também pela velocidade do ar. As trocas evaporativas ocorrem devido ao gradiente da pressão de vapor.

Yahav (2009) relata a importância do estudo das trocas de calor das aves em relação ao ambiente ao qual são submetidas. O autor refere-se aos constantes aprimoramentos na seleção genética dos frangos de corte, que acarreta num aumento da taxa de crescimento dos animais, mas tal crescimento não é verificado, por exemplo, nos sistemas viscerais. Esse rápido crescimento também resulta na diminuição da termotolerância das aves.

Sob condições de estresse, ocorre uma diminuição do gradiente de temperatura entre a superfície do animal e a temperatura ambiente, tornando os mecanismos latentes mais significativos para a tentativa de manutenção da homeostasia dos animais.

As trocas latentes acarretam custos metabólicos mais significativos do que as trocas sensíveis. Pela ausência de glândulas sudoríparas, o mecanismo de troca latente



das aves passa a ser a evaporação respiratória, representado pela ofegação. O aumento elevado da ofegação das aves pode gerar um quadro de alcalose respiratória, que é responsável por alterações significativas no equilíbrio ácido-básico (BORGES et al., 2003). Portanto, qualquer alteração das trocas latentes para as trocas sensíveis disponibiliza energia para a manutenção e crescimento dos animais.

Silva (2000) ressalta que existem na literatura poucos modelos que se referem ao equilíbrio térmico dos animais. Pode-se citar como trabalhos sobre trocas de calor de frangos de corte em diferentes condições climáticas (HUTCHINSON, 1954; TURNPENNY et al., 2000a; TURNPENNY et al., 2000b; MALHEIROS et al., 2000; YANAGI et al., 2001; AERTS E BERCKMANS, 2004; YAHAV et al., 2004, cujos modelos levam em consideração variáveis ambientais, como radiação, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar.

Diante do exposto, **o objetivo principal deste trabalho foi elaborar o balanço de calor (latente e sensível) para as linhagens Avian e Cobb durante o ciclo de produção.**

**E o objetivo específico foi: avaliar o perfil das trocas de calor em frangos de corte submetidos ao estresse e em condição de conforto.**

## 5.2 Material e Métodos

O desenvolvimento do balanço de calor foi realizado por meio das trocas de calor sensíveis (radiação e convecção) e latentes de frangos de corte de duas linhagens comerciais (Avian e Cobb), expostas a condição de conforto por 60 minutos e de estresse por diferentes tempos de exposição de 30, 60 e 90 minutos. O experimento foi executado durante as seis semanas do ciclo de produção, baseado em modelos termodinâmicos descritos pela literatura.

Foram registrados, durante os primeiros quatro dias de cada semana, os dados de temperatura superficial e temperatura cloacal de 96 aves, totalizando 584 aves. As mensurações eram realizadas logo após a exposição das aves aos diferentes tratamentos adotados na pesquisa.

### 5.2.1 Variáveis Ambientais

Foram mensuradas como variáveis ambientais as temperaturas de bulbo seco, a umidade relativa do ar, a temperatura de globo negro e a simulação da velocidade do ar, assim descritas:

**temperatura e umidade relativa do ambiente:** foram utilizados sensores automáticos da marca HOBO<sup>®</sup> (tipo *dataloggers*) de temperatura e umidade relativa, com leitura a cada 10 minutos.

**temperatura de globo negro:** foi instalado um termômetro de Globo Negro, entre os dois boxes experimentais, a 30 cm de altura, acoplado a um *datalogger* da marca HOBO<sup>®</sup> para registro da temperatura em intervalos de 10 minutos.

**velocidade do vento:** a simulação da velocidade do vento foi realizada por meio de um ventilador com uma velocidade constante de  $0,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante todo o período experimental, na altura das aves.

O estabelecimento das faixas das condições de conforto e estresse para cada semana de criação foi baseado nas informações propostas por Macari e Furlan (2001). Baseando-se nessas informações foram pré-determinadas as condições experimentais de conforto e estresse para cada semana de criação, considerando o controle da câmara climática, o que pode ser observado na tabela 33.

Tabela 33 - Faixas de temperatura e umidade relativa adotadas na pesquisa, em ambiente controlado

Ciclo de produção (semana)	Condição de conforto		Condição de estresse	
	T (°C)	UR (%)	T (°C)	UR (%)
1	34	60	30	80
2	31,5	60	25	80
3	28,5	60	38	80
4	25,5	60	37	80
5	23	60	36	80
6	22,5	60	35	80

As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos em correspondência com cada temperatura do ar, conforme descrito na tabela 34 abaixo, a partir de informações de Silva (2001).

Tabela 34 - Determinação das características do ar à temperatura t (°C)

Característica do ar	Equação
Viscosidade cinemática	$v = 1,32909 \cdot 10^{-5} + 9 \cdot 10^{-8} \cdot t, \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Densidade	$\rho = 1,289764 - 0,004111 \cdot t, \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Condutividade térmica	$k = 0,024324 + 6,2909 \cdot 10^{-5} \cdot t, \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$
Calor específico	$c_p = 1005,524 + 0,033714 \cdot t, \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$

Fonte: Silva (2001)

## Tratamentos

Foram pré-estabelecidos os seguintes tratamentos para cada semana de produção:

- Tratamento Conforto com 60 minutos de exposição – C60;
- Tratamento Estresse com 30 minutos de exposição – E30;
- Tratamento Estresse com 60 minutos de exposição – E60;
- Tratamento Estresse com 90 minutos de exposição – E90.

## 5.2.2 Balanço de calor

As trocas totais, por unidade de área superficial, foram obtidas pelo somatório entre as trocas sensíveis e latentes. A obtenção de cada uma delas está descrita a seguir.

### 5.2.2.1 Trocas sensíveis

Para a determinação das trocas de calor sensíveis entre o meio circundante e as aves, por unidade de área superficial corporal, adotou-se o seguinte modelo (TURNPENNY et al., 2000a), determinado pela eq. (3):

$$G_s = C_R + L \quad (3)$$

Onde:

$G_s$  = trocas de calor sensível entre a ave e o meio, em  $W.m^{-2}$ ;

$C_R$  = fluxo de calor por convecção, em  $W.m^{-2}$ ;

$L$  = fluxo de calor por radiação, em  $W.m^{-2}$ .

As trocas sensíveis por condução não foram incluídas na eq. (3) por serem consideradas desprezíveis (McARTHUR, 1987), por serem muito baixas ou insignificantes. O fluxo de calor por convecção,  $C_r$ , foi determinado pela eq. (4), proposta por McArthur, 1987; Silva, 2000; Turnpenny et al., 2000a, e adotada por Aerts e Berckmans, 2004; Maia et al., 2005.

$$C_r = \frac{\rho \cdot c_p}{rh} \cdot (T_c - T_a) \quad (4)$$

Onde:

$C_r$  = fluxo de calor por convecção, em  $W.m^{-2}$ ;

$\rho$  = densidade do ar, em  $g.m^{-3}$ ;

$c_p$  = calor específico do ar, e  $J.g^{-1}.K^{-1}$ ;

$r_h$  = resistência da camada limite à transferência de calor por convecção;

$T_C$  = temperatura da superfície corporal, em K;

$T_a$  = temperatura do ar, em K.

A resistência da camada limite à transferência de calor por convecção pôde ser calculada pela eq. (5).

$$r_h = \frac{\rho \cdot c_p \cdot d_b}{k \cdot Nu} \quad (5)$$

Onde:

$r_h$  = resistência da camada limite às trocas por convecção;

$\rho$  = densidade do ar, em  $g.m^{-3}$ ;

$c_p$  = calor específico do ar, e  $J.g^{-1}.K^{-1}$ ;

$d_b$  = diâmetro médio do corpo da ave, em m, obtido pela eq. (4);

$k$  = condutividade térmica do ar, em  $W.m^{-1}.K^{-1}$ ;

$Nu$  = número de Nusselt, adimensional.

O cálculo do diâmetro médio das aves, para cada semana de estudo, foi feito pela eq. (6), proposta por Mitchell (1930):

$$d_b = 0,131 \cdot P^{0,33} \quad (6)$$

Onde:

$d_B$  = diâmetro corporal médio das aves, cm;

$P$  = peso das aves, em gramas

O número de Nusselt foi determinado pela eq. (7), ao considerarmos a representação do corpo da ave como uma esfera.

$$Nu = 2 + 0,79.Re^{0,48} \quad (7)$$

Onde:

Nu = número de Nusselt, adimensional;

Re = número de Reynolds, adimensional.

O número de Reynolds foi obtido pela eq. (8).

$$Re = \nu d_t V^{-1} \quad (8)$$

Onde:

Re = número de Reynolds, adimensional;

U = viscosidade cinemática do ar,  $m^{-2}.s^{-1}$ ;

$d_t$  = diâmetro do globo negro, m;

V = velocidade de deslocamento do ar,  $m.s^{-1}$

As trocas por radiação de ondas longas foram calculadas através da eq. (9), proposta por McArthur (1987); Silva (2000); Turnpenny et al. (2000a), e adotada por Aerts e Berckmans (2004); Maia et al. (2005). Considerou-se apenas radiação de ondas longas, pelo fato de não haver incidência de radiação solar no interior da câmara climática.

$$L = \frac{\rho.c_p}{r_r}.(T_c - \overline{T_R}) \quad (9)$$

Onde:

L = fluxo de calor sensível por radiação de ondas longas, em  $W.m^{-2}$ ;

$\rho$  = densidade do ar, em  $g.m^{-3}$ ;

$c_p$  = calor específico do ar, e  $J.g^{-1}.K^{-1}$ ;

$r_r$  = resistência da camada limite à transferência de calor por radiação;

$T_C$  = temperatura corporal média das aves, em K;

$\overline{T_R}$  = temperatura radiante média, em K.

A temperatura corporal média das aves foi baseada nas equações propostas por Nascimento (capítulo 2), de acordo com as diferentes semanas de criação, para ambas as linhagens estudadas na pesquisa, Avian e Cobb, definidas pela tabela 35 abaixo.

Tabela 35 - Modelos de regressão linear múltiplas para o cálculo da TSM Nascimento durante o ciclo de criação, para as linhagens Avian e Cobb

Semana	Linhagem	Modelo
1 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,17.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,12.Tpata + 0,41.Tdorso + 7,57
	Cobb	TSM = 0,11.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,15.Tpata + 0,56.Tdorso + 3,47
2 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,08.Tasa + 0,07.Tcabeça + 0,18.Tpata + 0,53.Tdorso + 5,92
	Cobb	TSM = 0,07.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,16.Tpata + 0,47.Tdorso + 7,50
3 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,18.Tasa + 0,13.Tpata + 0,56.Tdorso + 2,97
	Cobb	TSM = 0,23.Tasa + 0,13.Tcabeça + 0,60.Tdorso
4 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,20.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,11.Tpata + 0,49.Tdorso + 0,05.Tcrista
	Cobb	TSM = 0,27.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,07.Tpata + 0,45.Tdorso
5 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,45.Tasa + 0,08.Tpata + 0,36.Tdorso + 0,13.Tcrista
	Cobb	TSM = 0,46.Tasa + 0,07.Tpata + 0,32.Tdorso + 0,12.Tcrista
6 <sup>a</sup>	Avian	TSM = 0,30.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,52.Tdorso + 0,10.Tcrista
	Cobb	TSM = 0,27.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,05.Tpata + 0,50.Tdorso + 0,10.Tcrista

A resistência da camada limite à transferência de calor por radiação foi calculada pela eq. (10).

$$r_r = \rho \cdot c_p \cdot \left( 4 \cdot \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot \overline{T_M^3} \right)^{-1} \quad (10)$$

Onde:

$r_r$  = resistência da camada limite às trocas de calor por radiação;

$\rho$  = densidade do ar, em  $\text{g.m}^{-3}$ ;

$c_p$  = calor específico do ar, e  $\text{J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ;

$\epsilon_s$  = emissividade das penas, de 0,94;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann, igual a  $5,67051.10^{-8}$ , em  $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ ;

$T_M$  = temperatura média entre  $T_c$  e  $\overline{T_R}$ , ou seja, igual a  $0,5.(T_c + \overline{T_R})$ , em K.

A temperatura radiante média foi obtida pela eq. (11), proposta por Silva (2001).

$$\overline{T_R} = \left[ 1,053.h_c.\sigma^{-1}.(T_g - T_a) + T_g^4 \right]^{0,25} \quad (11)$$

Onde:

$\overline{T_R}$  = temperatura radiante média, em K;

$h_c$  = coeficiente de convecção do globo;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann, igual a  $5,67051.10^{-8}$ , em  $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ ;

$T_a$  = temperatura do ar, em K;

$T_g$  = temperatura de globo negro, em K.

O coeficiente de convecção do globo foi calculado pela eq. (12).

$$h_c = 0,38.k.d_t^{-1}.\text{Re}^{0,6}.\text{Pr}^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

Onde:

$h_c$  = coeficiente de convecção do globo;

$k$  = condutividade térmica do ar, em  $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ;

$d_t$  = diâmetro do globo negro, em m;

$\text{Re}$  = número de Reynolds, adimensional;

$\text{Pr}$  = número de Prandtl, adimensional.



O número de Prandtl foi obtido pela eq. (13).

$$\text{Pr} = \rho \cdot c_p \cdot \nu \cdot k^{-1} \quad (13)$$

Onde:

Pr = número de Prandtl, adimensional;

$\rho$  = densidade do ar, em  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ;

$c_p$  = calor específico do ar, em  $\text{J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ;

$\nu$  = viscosidade cinemática do ar, em  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$k$  = condutividade térmica do ar, em  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ .

### 5.2.2.2 Trocas latentes

Considerou-se como trocas latentes o processo de evaporação respiratória e as trocas pela superfície da pele. Para o cálculo do fluxo das trocas latentes, foi utilizada a relação empírica de Hutchinson (1954), determinado pela eq. (14).

$$E = (-3,5 \cdot 10^{-3} \cdot e_a + 23) \cdot (T_{NC} - 314) + 10 \quad (14)$$

Onde:

$E$  = fluxo total de calor por evaporação, em  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ;

$e_a$  = pressão de vapor do ambiente, em kPa;

$T_{NC}$  = temperatura do núcleo corporal, representada pela temperatura cloacal, em K.

### 5.3 Resultados e Discussão

São apresentados a seguir os dados do balanço de calor para as linhagens Avian e Cobb, submetidas a duas condições ambientais (conforto e estresse), para cada um dos quatro tratamentos, nas seis semanas do ciclo de criação.

A tabela 36 abaixo apresenta os dados médios de temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (Tg) para os tratamentos C60, E30, E60 e E90, para cada uma das semanas de estudo em ambiente controlado.

Tabela 36 - Dados médios de temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (Tg) para os tratamentos C60, E30, E60 e E90 em câmara climática, nas seis semanas do ciclo de criação

Semana	Tratamento	Tbs (°C)	UR (%)	Tg (°C)	Semana	Tratamento	Tbs (°C)	UR (%)	Tg (°C)
1	C60	33,76	50,3	34,0	4	C60	25,31	70,70	22,28
	E30	29,2	64,2	29,4		E30	35,68	44,33	35,72
	E60	29,4	61,5	29,8		E60	35,45	46,73	35,64
	E90	30,0	59,2	30,2		E90	35,52	49,73	35,79
2	C60	30,9	60,5	31,1	5	C60	22,83	70,48	23,29
	E30	24,6	73,8	25,2		E30	34,59	55,38	34,82
	E60	24,6	74,1	25,0		E60	34,81	55,63	34,93
	E90	24,4	72,0	24,9		E90	34,70	60,28	34,84
3	C60	27,51	68,66	27,90	6	C60	22,21	66,20	23,01
	E30	36,76	40,84	36,92		E30	34,22	53,84	34,17
	E60	36,59	43,78	36,79		E60	34,43	57,63	34,48
	E90	36,48	46,60	36,63		E90	34,63	59,28	35,32

A partir dos dados registrados, foi possível o cálculo das características do ar, de acordo com Silva (2001). As características obtidas foram: viscosidade cinemática ( $\nu$ ), densidade do ar ( $\delta$ ), condutividade térmica ( $k$ ) e o calor específico ( $cp$ ). A tabela 37 apresenta todos esses valores médios para as seis semanas de pesquisa, dentro de cada um dos tratamentos estudados. É apresentada também a velocidade do vento obtida na altura do globo negro, mantida constante durante toda a execução do experimento.

Tabela 37 - Valores médios de viscosidade cinemática ( $\nu$ ), densidade do ar ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $k$ ), calor específico ( $cp$ ) e velocidade do ar mensurada à altura do globo negro em ambiente controlado durante as seis semanas de pesquisa, para os tratamentos C60, E30, E60 e E90

Semana	Tratamento	$\nu$ (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	$\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	$k$ (w.m <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )	$cp$ (J.kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> )	$v_g$ (m.s <sup>-1</sup> )
1	C60	$1,63 \cdot 10^{-5}$	1,150977	0,026448	1006,662	0,5
	E30	$1,59 \cdot 10^{-5}$	1,169723	0,026161	1006,508	0,5
	E60	$1,59 \cdot 10^{-5}$	1,168901	0,026174	1006,515	0,5
	E90	$1,6 \cdot 10^{-5}$	1,166434	0,026211	1006,535	0,5
2	C60	$1,61 \cdot 10^{-5}$	1,162734	0,026268	1006,566	0,5
	E30	$1,55 \cdot 10^{-5}$	1,188633	0,025872	1006,353	0,5
	E60	$1,55 \cdot 10^{-5}$	1,188633	0,025872	1006,353	0,5
	E90	$1,55 \cdot 10^{-5}$	1,189456	0,025859	1006,347	0,5
3	C60	$1,58 \cdot 10^{-5}$	1,176681	0,026054	1006,451	0,5
	E30	$1,66 \cdot 10^{-5}$	1,138654	0,026636	1006,763	0,5
	E60	$1,66 \cdot 10^{-5}$	1,139353	0,026626	1006,758	0,5
	E90	$1,66 \cdot 10^{-5}$	1,139815	0,026619	1006,754	0,5
4	C60	$1,56 \cdot 10^{-5}$	1,185715	0,025916	1006,377	0,5
	E30	$1,65 \cdot 10^{-5}$	1,143073	0,026569	1006,727	0,5
	E60	$1,65 \cdot 10^{-5}$	1,14405	0,026554	1006,719	0,5
	E90	$1,65 \cdot 10^{-5}$	1,143741	0,026559	1006,722	0,5
5	C60	$1,53 \cdot 10^{-5}$	1,1959	0,02576	1006,294	0,5
	E30	$1,64 \cdot 10^{-5}$	1,147585	0,0265	1006,69	0,5
	E60	$1,64 \cdot 10^{-5}$	1,14667	0,026514	1006,698	0,5
	E90	$1,64 \cdot 10^{-5}$	1,147102	0,026507	1006,694	0,5
6	C60	$1,53 \cdot 10^{-5}$	1,198469	0,025721	1006,273	0,5
	E30	$1,64 \cdot 10^{-5}$	1,149086	0,026477	1006,678	0,5
	E60	$1,64 \cdot 10^{-5}$	1,148222	0,02649	1006,685	0,5
	E90	$1,64 \cdot 10^{-5}$	1,1474	0,026503	1006,692	0,5

Foram calculados os números adimensionais de Prandtl (Pr), Reynolds (Re) e de Nusselt (Nu). Também obteve-se o coeficiente de convecção do globo negro para cálculo da temperatura radiante média (TRM), em Kelvin, conforme indicado pela tabela 38, para os quatro tratamentos adotados dentro de cada uma das seis semanas do estudo.

Tabela 38 - Números adimensionais de Prandtl (Pr), Reynolds (Re) e de Nusselt (Nu), coeficiente de convecção do globo negro (hc) e valores de (TRM), para os tratamentos C60, E30, E60 e E90, para as seis semanas do ciclo de criação, em ambiente controlado

Semana	Tratamento	Pr	Re	hc	TRM (K)	Nu
1	C60	0,715366	3061,981	11,10025	307	39,23131
	E30	0,716407	3140,921	11,15423	302,4	39,68898
	E60	0,716374	3137,373	11,15185	302,8	39,66855
	E90	0,716266	3126,778	11,14473	303,2	39,60743
2	C60	0,716085	3111,02	11,13406	304,1	39,51634
	E30	0,716877	3224,787	11,20908	298,2	40,16872
	E60	0,716877	3224,787	11,20908	298	40,16872
	E90	0,716884	3228,535	11,21148	297,9	40,19001
3	C60	0,716649	3171,266	11,17436	300,9	39,86333
	E30	0,714378	3012,216	11,06492	309,9	38,93962
	E60	0,71444	3014,995	11,06692	309,8	38,95597
	E90	0,714481	3016,837	11,06825	309,6	38,96681
4	C60	0,716844	3211,551	11,20058	295,3	40,09344
	E30	0,714759	3029,876	11,07758	308,7	39,04342
	E60	0,714839	3033,806	11,08038	308,6	39,06647
	E90	0,714814	3032,564	11,07949	308,8	39,05918
5	C60	0,716898	3258,215	11,23029	296,3	40,35813
	E30	0,715117	3048,121	11,09051	307,8	39,15032
	E60	0,715047	3044,404	11,08789	307,9	39,12857
	E90	0,715081	3046,157	11,08913	307,8	39,13883
6	C60	0,716884	3270,202	11,23781	296	40,4258
	E30	0,71523	3054,237	11,09482	307,2	39,18608
	E60	0,715166	3050,715	11,09234	307,5	39,16549
	E90	0,715103	3047,368	11,08998	308,3	39,14592

A tabela 39 descreve os valores das variáveis corporais das aves, sendo calculadas para cada linhagem, em cada um dos tratamentos, durante as seis semanas de pesquisa. Calcularam-se as temperaturas superficiais médias (TSM Avian e TSM Cobb), em Kelvin; as temperaturas médias, Tm Avian e Tm Cobb, obtidas pela média

entre a TSM de cada linhagem e a TRM, específica para cada um dos tratamentos. E também o valor do diâmetro médio das aves ( $d_b$  Avian e  $d_b$  Cobb), em metros.

Tabela 39 - Valores de TSM (TSM Avian e TSM Cobb), Tm (Tm Avian e Tm Cobb) e diâmetro médio das aves ( $d_b$  Avian e  $d_b$  Cobb) para os tratamentos C60, E30, E60 e E90, nas seis semanas do ciclo de criação

Semana	Tratamento	TSM Avian (K)	TSM Cobb (K)	Tm Avian (K)	Tm Cobb (K)	$d_b$ Avian (m)	$d_b$ Cobb (m)
1	C60	309,41	309,77	308,21	308,39	0,049	0,049
	E30	308,38	307,62	305,39	305,01		
	E60	307,94	307,64	305,37	305,22		
	E90	308,18	308,16	305,69	305,68		
2	C60	309,54	309,31	306,82	306,70	0,065	0,066
	E30	306,47	305,99	302,33	302,09		
	E60	306,52	305,9	302,26	301,95		
	E90	306,07	305,96	301,98	301,93		
3	C60	306,03	306,56	303,46	303,73	0,083	0,084
	E30	310,33	310,96	310,13	310,44		
	E60	310,25	310,74	310,02	310,26		
	E90	310,26	311,26	309,94	310,44		
4	C60	305,16	303,45	300,22	299,36	0,106	0,106
	E30	311,68	309,51	310,20	309,12		
	E60	311,32	309,63	309,98	309,14		
	E90	311,81	309,5	310,30	309,14		
5	C60	302,69	301,1	299,49	298,69	0,119	0,117
	E30	310,94	308,85	309,38	308,34		
	E60	311,09	309,15	309,51	308,54		
	E90	310,98	309	309,41	308,42		
6	C60	303,35	303,31	299,68	299,66	0,136	0,138
	E30	310,18	310,14	308,68	308,66		
	E60	310,5	310,45	308,99	308,96		
	E90	310,61	310,68	309,46	309,50		

A partir desses dados, foram calculados os coeficientes da resistência da camada limite às trocas por radiação e convecção, respectivamente denominados  $rr$  e  $rh$ , apresentados na tabela 40. O cálculo foi realizado para ambas as linhagens, sendo

obtidos pelos valores médios das variáveis estudadas durante o ciclo de criação para cada um dos tratamentos.

Tabela 40 - Valores de resistência da camada limite às trocas de calor por radiação (rr Avian e rr Cobb) e por convecção (rh Avian e rh Cobb) para as seis semanas do ciclo de criação, nos tratamentos C60, E30, E60 e E90

Semana	Tratamento	rr Avian	rr Cobb	rh Avian	rh Cobb
1	C60	185,23	184,91	54,72	54,72
	E30	193,52	194,25	55,56	55,56
	E60	193,07	193,36	55,52	55,52
	E90	192,42	192,44	55,41	55,41
2	C60	189,71	189,92	73,29	74,42
	E30	201,84	202,32	74,82	75,97
	E60	202,38	203,00	74,82	75,97
	E90	202,87	202,98	74,87	76,02
3	C60	198,03	197,51	94,64	95,78
	E30	180,01	179,46	91,73	92,84
	E60	180,26	179,83	91,79	92,89
	E90	180,53	179,66	91,82	92,93
4	C60	213,52	215,37	121,73	121,73
	E30	180,76	182,67	117,59	117,59
	E60	181,06	182,55	117,69	117,69
	E90	180,35	182,37	117,66	117,66
5	C60	209,18	210,85	137,75	135,43
	E30	182,60	184,46	132,51	130,28
	E60	182,42	184,14	132,41	130,18
	E90	182,63	184,39	132,46	130,23
6	C60	208,50	208,54	157,74	160,06
	E30	184,54	184,58	151,63	153,86
	E60	183,70	183,75	151,52	153,75
	E90	181,74	181,68	151,42	153,64

Na sequência, estimaram-se, pela tabela 41, as trocas de calor sensíveis de frangos de corte das linhagens Avian e Cobb, por unidade de área superficial corporal, para as condições de conforto e estresse. As trocas sensíveis calculadas foram as por radiação, convecção e totais, em  $W.m^{-2}$ .

Tabela 41 - Trocas sensíveis por radiação, convecção e trocas sensíveis totais, em  $W.m^{-2}$ , para as linhagens Avian e Cobb, nas seis semanas do ciclo de criação, nos tratamentos C60, E30, E60 e E90

Semana	Tratamento	Radiação ( $W.m^{-2}$ )				Convecção ( $W.m^{-2}$ )				Total ( $W.m^{-2}$ )	
		Avian (%)	Cobb (%)	Avian (%)	Cobb (%)	Avian (%)	Cobb (%)	Avian	Cobb		
1	C60	12,41	18	14,68	19	56,11	82	63,74	81	68,52	78,42
2		31,3	26	29,84	26	90,07	74	85,08	74	121,37	114,92
3		26,27	28	29,52	28	69,11	72	74,84	72	95,38	104,36
4		90,62	57	80,37	61	67,15	43	50,38	39	157,77	130,75
5		31,65	35	22,33	32	59,91	65	46,81	68	91,56	69,14
6		33,24	35	40,43	40	62,25	65	61,05	60	95,49	101,48
1	E30	34,11	21	29,37	20	130,95	79	114,85	80	165,06	144,22
2		42,07	23	39,14	23	142,81	77	132,11	77	184,88	171,25
3		0,78	10	4,81	24	7,15	90	14,85	76	7,93	19,66
4		18,38	39	4,52	36	29,33	61	8,1	64	47,71	12,62
5		17,08	37	3,81	25	29,25	63	11,22	75	46,33	15,03
6		19,38	46	39,19	64	22,58	54	21,95	36	41,96	61,14
1	E60	26,79	19	24,93	18	117,39	81	111,03	82	144,18	135,96
2		41,93	23	40,17	24	142,61	77	130,69	76	184,54	170,86
3		0,79	9	3,92	22	8,28	91	14,23	78	9,07	18,15
4		14,88	35	4,1	26	28,14	65	11,6	74	43,02	15,7
5		18,67	39	6,34	35	28,62	61	11,9	65	47,29	18,24
6		18,21	44	39,16	63	23,42	56	22,7	37	41,63	61,86
1	E90	28,12	20	28	20	109,75	80	109,32	80	137,87	137,32
2		42,43	23	41,75	24	138,62	77	134,79	76	181,05	176,54
3		2,39	20	8,79	29	9,81	80	22,04	71	12,2	30,83
4		16,32	34	1,55	14	32,2	66	9,59	86	48,52	11,14
5		18,28	39	5,7	33	28,57	61	11,5	67	46,85	17,2
6		7,43	25	39,14	63	22,73	75	22,93	37	30,16	62,07

Pela tabela acima, é possível observar que na condição de conforto (tratamento C60), as trocas por radiação corresponderam a, no máximo, 40% das trocas totais,

sendo as trocas por convecção mais significativas. Apenas na 4ª semana, as trocas por radiação representaram aproximadamente 60% do total, correspondendo a 57% para a linhagem Avian e 61% para a Cobb.

Para as aves na primeira semana, as trocas por convecção representaram cerca de 80% do total das trocas, representando 81% do total para a linhagem Cobb e 82% para a Avian. Wathes e Clark (1981a), ao estudarem frangos de corte em câmara climática aos oito dias de vida, observaram que as trocas convectivas responderam por cerca de 50% do total das trocas sensíveis. Mitchell (1985) também relatou uma proporção de 50% para cada uma das trocas sensíveis.

Aerts e Berckmans (2004), em estudo mais recente com frangos Ross, relataram uma proporção de 70% do total de trocas correspondentes às trocas por convecção. Os autores ressaltaram que no experimento as trocas por radiação podem ter sido subestimadas, uma vez que a temperatura radiante média foi registrada por meio de termografia, por meio da média ponderada entre as temperaturas das paredes, do teto e da cama, ou seja, sem a presença de um globo negro nas instalações.

Um fator fundamental para as trocas convectivas é a velocidade de deslocamento do ar, que no caso da pesquisa, foi mantida constante a  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  durante todas as semanas. Além disso, em cada um dos experimentos citados, as condições tipológicas das câmaras climáticas são distintas.

Em um experimento de Wathes e Clark (1981b), os autores estudaram frangos Ross em câmara climática durante os 42 dias do ciclo de produção, e verificaram o seguinte perfil em relação às trocas sensíveis: um aumento significativo até o oitavo dia de vida; seguido por uma estabilização ou “plateau” entre o 9º e o 21º dia de vida. Dos 22 aos 42 dias de vida, foi observada uma queda nesses valores.

Na pesquisa, observou-se um perfil diferente do dos autores. Para o tratamento C60, observou-se um aumento das trocas até a 2ª semana; uma ligeira queda na 3ª semana, seguido de um aumento na 4ª semana, período em que os animais apresentaram os maiores valores totais de trocas no decorrer de todo o ciclo; e uma diminuição das trocas para as 5ª e 6ª semanas.

No tratamento E30, os menores valores totais para a linhagem Avian foram observados na 3ª semana do ciclo. Já a linhagem Cobb apresentou valores menores



nas 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> semanas, o que pode indicar que aves dessa linhagem apresentam queda das trocas sensíveis mesmo em um curto período de estresse. O mesmo foi observado no tratamento E60.

Em 90 minutos de estresse (tratamento E90), a linhagem Avian também apresentou menores valores totais durante a 3<sup>a</sup> semana; e a linhagem Cobb, nas 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> semanas.

Portanto, a resposta em relação às trocas de calor sensíveis são distintas para cada uma das linhagens, o que é um indício de que aves Avian são mais susceptíveis ao estresse na 3<sup>a</sup> semana de vida. Isso corrobora as informações de Macari et al. (2002), independentemente do tempo de estresse adotado. A linhagem Cobb, por outro lado, mostrou maior sensibilidade ao estresse em relação ao tempo de exposição, com menores trocas durante a 3<sup>a</sup> até a 5<sup>a</sup> semana em 30 e 60 minutos de exposição, e nas 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> semanas, para 90 minutos de exposição.

Aerts e Berckmans (2004) realizaram dois experimentos com frangos Ross, lote misto, para a obtenção das trocas sensíveis durante os 42 dias de criação, e observaram valores totais correspondentes a 45 e 50 W.m<sup>-2</sup> para a 1<sup>a</sup> semana do ciclo, sob uma temperatura de 30°C. Esses valores são ligeiramente menores em comparação ao tratamento C60 na 1<sup>a</sup> semana da pesquisa, o que pode ser explicado pela temperatura de conforto adotada ser de 34°C.

Pelo cálculo das trocas latentes, a transição entre as trocas sensíveis e latentes pôde ser estudada. A tabela 42 apresenta os valores para as trocas sensíveis totais, trocas latentes e o total, obtido pelo somatório entre ambas.

Tabela 42 – Trocas sensíveis, trocas latentes e trocas totais, em  $W.m^{-2}$ , para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante o ciclo de produção, para os tratamentos C60, E30, E60 e E90

Semana	Tratamento	Trocas sensíveis ( $W.m^{-2}$ )				Trocas latentes ( $W.m^{-2}$ )				Trocas totais ( $W.m^{-2}$ )	
		Avian	(%)	Cobb	(%)	Avian	(%)	Cobb	(%)	Avian	Cobb
1	C60	68,52	100	78,42	100	-4,59	0	-4,17	0	63,93	74,25
2		121,37	91	114,92	89	11,76	9	14,2	11	133,13	129,12
3		95,38	82	104,36	83	20,92	18	21,34	17	116,3	125,7
4		157,77	87	130,75	84	23,97	13	25,62	16	181,74	156,37
5		91,56	79	69,14	74	24,69	21	24,2	26	116,25	93,34
6		95,49	80	101,48	83	23,95	20	20,59	17	119,44	122,07
1	E30	165,06	100	144,22	100	-10,71	0	-11,27	0	154,35	132,95
2		184,88	95	171,25	94	9,25	5	11,2	6	194,13	182,45
3		7,93	16	19,66	33	41,4	84	39,7	67	49,33	59,36
4		47,71	57	12,62	25	36,48	43	37,17	75	84,19	49,79
5		46,33	64	15,03	37	26,27	36	25,41	63	72,6	40,44
6		41,96	58	61,14	69	30,05	42	27,48	31	72,01	88,62
1	E60	144,18	100	135,96	100	-8,43	0	-9,85	0	135,75	126,11
2		184,54	94	170,86	97	11,05	6	5,95	3	195,59	176,81
3		9,07	19	18,15	32	39,34	81	37,71	68	48,41	55,86
4		43,02	54	15,7	29	36,08	46	39,34	71	79,1	55,04
5		47,29	60	18,24	39	31,26	40	28,22	61	78,55	46,46
6		41,63	57	61,86	69	30,78	43	28,01	31	72,41	89,87
1	E90	137,87	100	137,32	100	-7,34	0	-7,48	0	130,53	129,84
2		181,05	97	176,54	96	4,95	3	7,86	4	186	184,4
3		12,2	26	30,83	45	35,6	74	37,43	55	47,8	68,26
4		48,52	58	11,14	24	35,32	42	34,68	76	83,84	45,82
5		46,85	62	17,2	40	28,66	38	26,29	60	75,51	43,49
6		30,16	51	62,07	69	28,49	49	27,33	31	58,65	89,4

Pela tabela acima, e a partir das porcentagens das trocas sensíveis e latentes em relação às trocas totais, foi possível estimar a proporção de cada uma das trocas em condições de conforto e estresse.

Os perfis das trocas, para cada uma das figuras são apresentados nas figuras de 12 a 14.

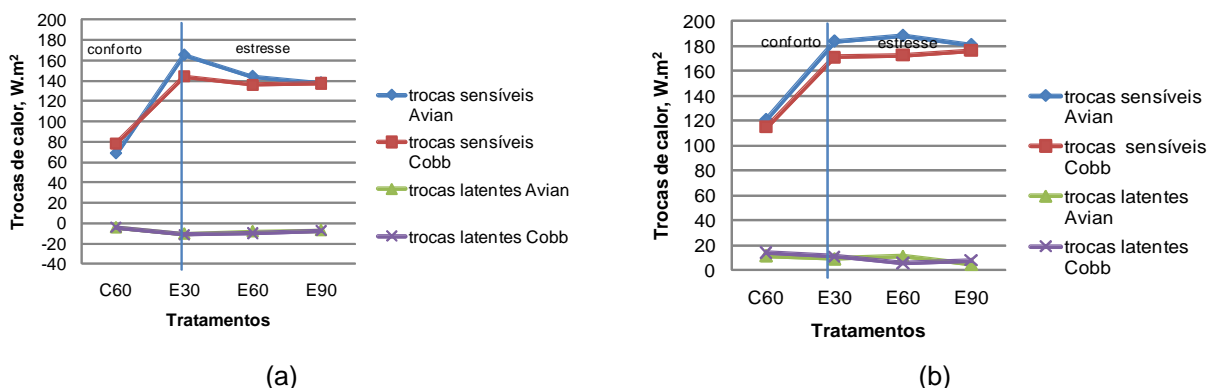


Figura 12 - Transição entre as trocas sensíveis e latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb submetidas aos tratamentos C60, E30, E60 e E90 - (a) primeira semana de criação; (b) segunda semana de criação

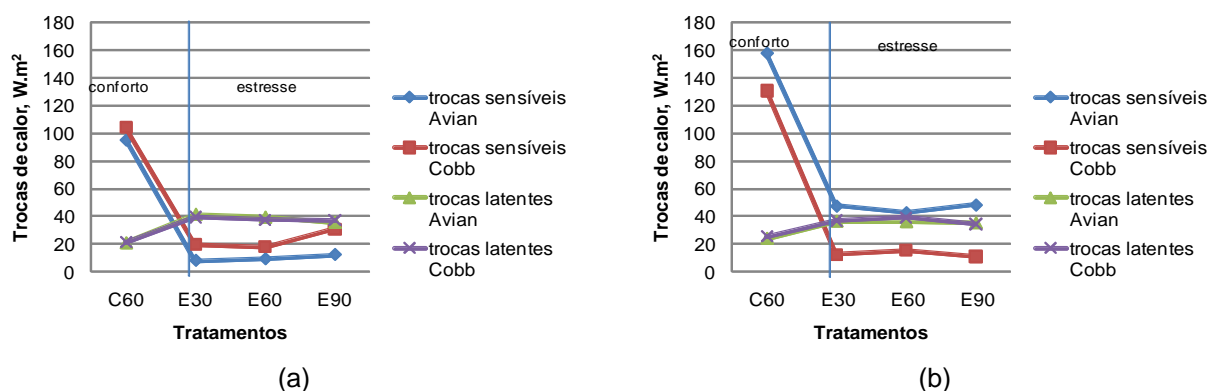


Figura 13 - Transição entre as trocas sensíveis e latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb submetidas aos tratamentos C60, E30, E60 e E90 - (a) terceira semana de criação; (b) quarta semana de criação

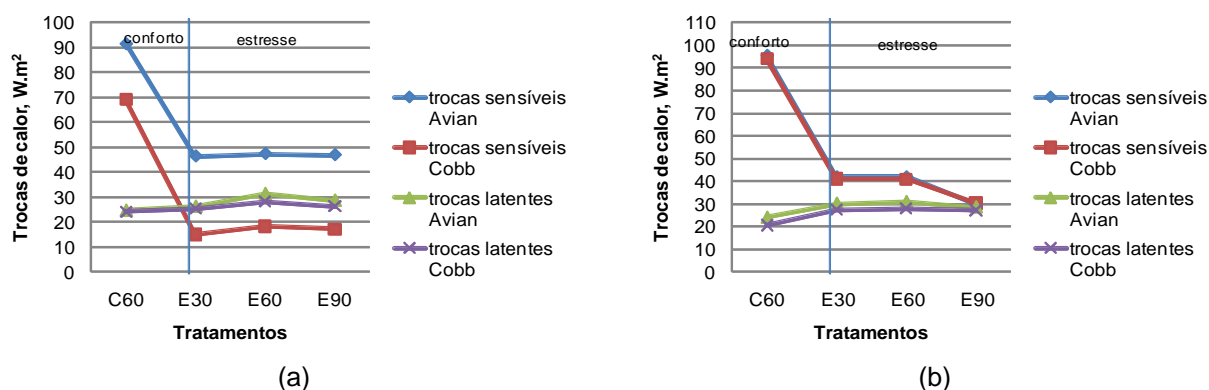


Figura 14 - Transição entre as trocas sensíveis e latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb submetidas aos tratamentos C60, E30, E60 e E90 - (a) quinta semana de criação; (b) sexta semana de criação

Observa-se, na figura 12 - a, que para a primeira semana do ciclo, as trocas latentes foram negativas, o que pode ser explicado pelo fato de que no modelo para seu

cálculo, proposto por Hutchinson (1954), existe a subtração entre a temperatura do núcleo corporal (nessa pesquisa, atribuída à temperatura cloacal) e o número 314. Ou seja, para o autor a termoneutralidade residiria numa temperatura do núcleo igual a 41°C, o que indicaria trocas mínimas de 10 W.m<sup>-2</sup>. Para as aves, de ambas as linhagens, os valores foram menores do que este.

Para o tratamento C60, a partir da 2ª semana, até o final do ciclo, observa-se que as trocas sensíveis, em condição de conforto, correspondem a até 91% do total para a linhagem Avian e de 89% para a Cobb, valores observados para a 2ª semana de criação.

É possível verificar que, sob condição de estresse por frio, há um aumento das trocas sensíveis, enquanto que as latentes são muito baixas. O que também foi observado para a segunda semana do ciclo, na figura 12 - b, cujas trocas sensíveis corresponderam a mais de 90% do total das trocas de calor, menos de 10% foram perdas relacionadas às trocas latentes.

A partir da terceira semana (figura 13 - a), nota-se que sob estresse térmico as trocas latentes passam a adquirir maior significância, como uma tentativa de manutenção do equilíbrio térmico. As trocas latentes atingem valores de aproximadamente 40 W.m<sup>-2</sup>, o que significa um percentual para os tratamentos C30, C60 e C90 de 84%, 81% e 74% para a linhagem Avian; para a linhagem Cobb, os percentuais referentes aos tratamentos de estresse foram de 67%, 68% e 55%, respectivamente, para E30, E60 e E90. As trocas sensíveis assumem, portanto, no máximo, 26% para a linhagem Avian e um máximo de 45% para os frangos Cobb, sendo ineficientes. É importante notar que as aves Avian se mostraram mais sensíveis que as da linhagem Cobb. No tratamento para a condição de conforto (C60), as trocas sensíveis representaram aproximadamente 80% do total.

O mesmo foi observado na quarta semana (figura 13 - b), em que para o tratamento C60, as trocas sensíveis também representaram cerca de 80% do total. Sob condição de estresse, porém, nota-se que a linhagem Avian apresentou, para o tratamento E30, trocas sensíveis de 57%. Para os tratamentos E60 e E90, as trocas latentes corresponderam a 46% e 42%, respectivamente. Para a linhagem Cobb, as aves apresentaram um perfil semelhante entre os tratamentos E30, E60 e E90, com

uma média de 70% para as trocas por vias evaporativas. Isso pode ser um indicativo de que a linhagem Avian é mais sensível aos primeiros minutos de estresse, adquirindo uma estabilização entre 60 e 90 minutos de exposição.

Na quinta semana (figura 14 - a), no tratamento C60 as trocas sensíveis responderam por 79% e 74% do total, para as linhagens Avian e Cobb, respectivamente. Para os tratamentos E30, E60 e E90, foi observado que as trocas latentes foram maiores para a linhagem Cobb, sendo de 63%, 61% e 60%. Para a linhagem Avian, essa proporção foi de 36%, 40% e 38%, para E30, E60 e E90, respectivamente.

Para a última semana do ciclo (figura 14 - b), na condição de conforto, as trocas sensíveis eram de aproximadamente 80%, e para os tratamentos de estresse, as trocas latentes foram relativamente pequenas, o que pode ser explicado pelo modelo adotado para a predição das trocas latentes. Consequentemente, pode ter ocorrido uma subestimação desses valores para todas as semanas do ciclo. O ideal seria a realização das mensurações das trocas latentes das aves, mas não pôde ser efetuada nesta pesquisa.

Os dados para o tratamento de conforto estão de acordo com o observado por Reece e Lott (1982), que, ao realizarem diversos estudos em condições de campo, observaram uma maior proporção para as trocas sensíveis de 60%, em relação às trocas latentes, de 40%. O que também está em concordância com Curtis (1983), que observou em poedeiras uma queda no percentual das trocas sensíveis de 60% (condição de termoneutralidade) para até 30% (condição de estresse térmico).

Aerts e Berckmans (2004) observaram para frangos de corte sob temperatura termoneutra que as trocas evaporativas correspondiam a 33 a 35% do total. Richards (1976) também observou valores de até 30% para as trocas latentes em condição termoneutra. Nesta pesquisa, o percentual foi de aproximadamente 20% para as trocas evaporativas para as aves em condição de conforto.

O tempo de exposição não influenciou nas trocas térmicas dos animais, o que corrobora Aerts e Berckmans (2004), que, ao expor frangos de corte da linhagem Ross a uma condição de estresse por um período de cinco horas, verificaram um aumento acentuado nas trocas latentes após os 120 minutos de exposição. Os autores, inclusive,

afirmam que as trocas evaporativas atingiram um percentual de até 95% do total, comprovando a ineficácia de meios sensíveis frente a uma condição de estresse térmico.

Pôde-se traçar um perfil das trocas sensíveis durante todo o ciclo de criação, conforme apresentado na figura 15.

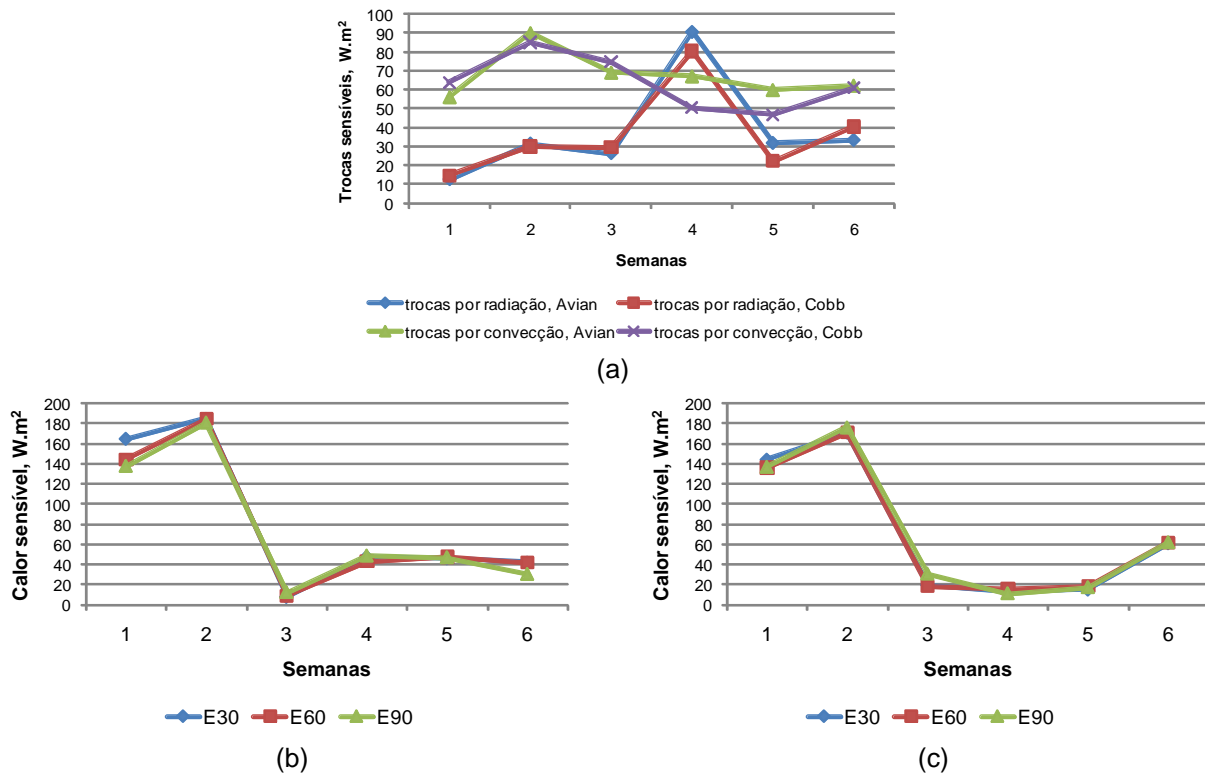


Figura 15 - Trocas sensíveis para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação - (a) tratamento C60; (b) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Avian e (c) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Cobb

Verifica-se pela figura 15 - a que as trocas convectivas foram maiores que as trocas por radiação até a 3ª semana do ciclo. Na 4ª semana, as trocas por radiação foram maiores do que as por convecção. A figura 16- a ainda ressalta que a 4ª semana foi o período em que os animais apresentaram maiores trocas sensíveis com o meio circundante, sendo estas trocas ligeiramente superiores para a linhagem Avian.

A figura 15 – b mostra o perfil das trocas sensíveis para a linhagem Avian nos tratamentos E30, E60 e E90. Observa-se que os três tratamentos apresentaram perfis semelhantes, e ainda, que os frangos foram mais sensíveis ao estresse durante a 3ª semana do ciclo.

A figura 15 - c expõe o perfil das trocas sensíveis para a linhagem Cobb, para os tratamentos de estresse. Assim como a linhagem Avian, as aves Cobb também se mostraram mais sensíveis na 3ª semana, porém para esta linhagem essa tendência foi observada nas 4ª e 5ª semanas. As maiores trocas sensíveis para ambas as linhagens foram observadas na 2ª semana do ciclo.

O mesmo raciocínio pôde ser feito para as trocas latentes, que pode ser verificado pela figura 16.

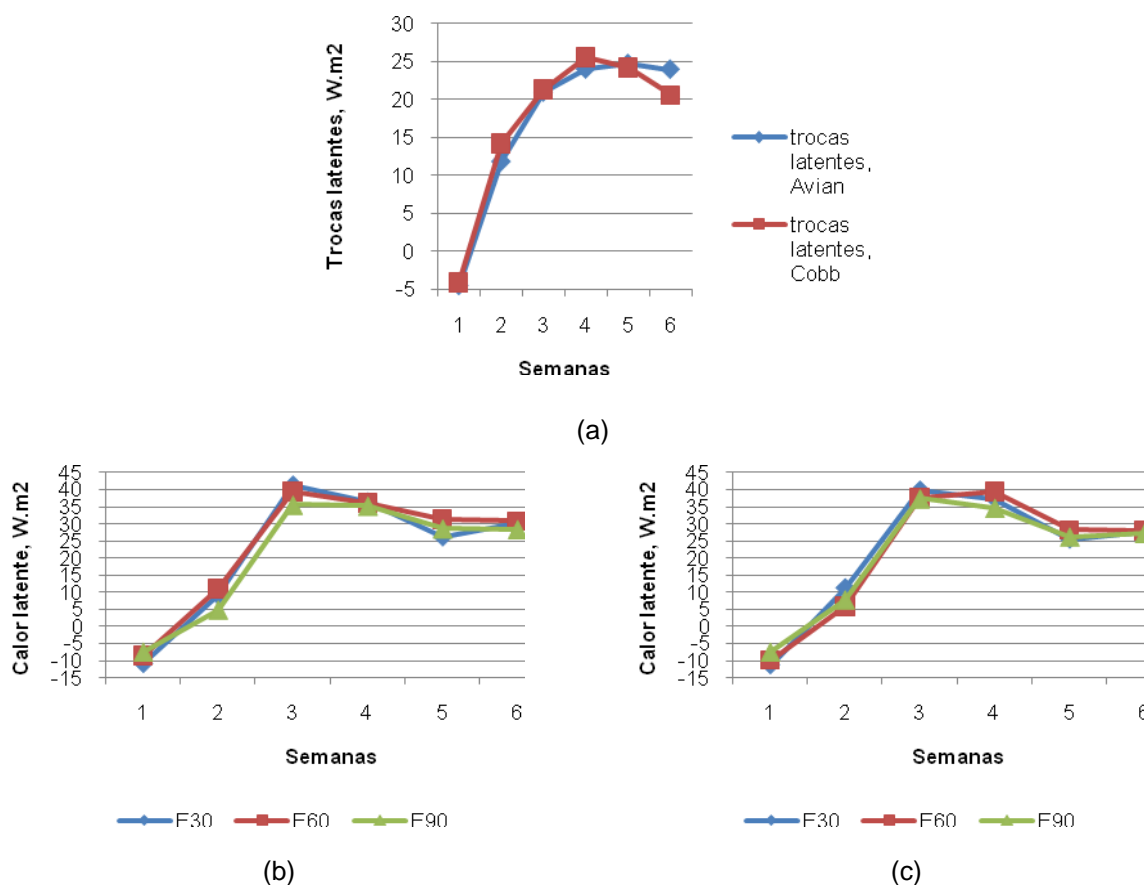


Figura 16 - Trocas latentes para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação - (a) tratamento C60; (b) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Avian e (c) tratamentos E30, E60 e E90 para a linhagem Cobb

As trocas latentes no tratamento C60 (figura 16 - a) foram crescentes com o decorrer do ciclo de criação, e as linhagens apresentaram perfis semelhantes. Em condição de estresse térmico, verifica-se que as maiores trocas evaporativas foram observadas na 3ª semana para a linhagem Avian (figura 16- b) e nas 3ª e 4ª semanas para a linhagem Cobb (figura 16- c).

## 5.4 Conclusões parciais

1. Foi possível o cálculo do balanço de calor latente e sensível para frangos de corte das linhagens Avian e Cobb durante as seis semanas do ciclo de criação.
2. O perfil das trocas foi traçado, e observou-se que sob condição de conforto os animais apresentam até 80% das trocas por meios sensíveis, e que em condição de estresse esses valores chegaram a valores de até 84% referentes às trocas latentes.
3. A terceira semana de criação foi o período em que os animais apresentaram uma maior susceptibilidade ao estresse térmico.

## Referências

AERTS, J.M.; BERCKMANS, D. A virtual chicken for climate control design: static and dynamic simulations of heat losses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.47, n.5, p.1765-1772, 2004.

BORGES, S.A.; MAIORKA, A.; SILVA, A.V.F. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.5, p. 975-981, 2003.

CURTIS, S.E. **Environmental Management in Animal Agriculture**. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1983. 410p.

HUTCHINSON, J. C. D. Evaporative cooling in fowls. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 45, p. 48-59, 1954.

MACARI, M.; FURLAN, R.L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap.2, p. 31-87.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 375p.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Respiratory heat loss of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 49, p. 332-336, 2005a.



MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, Heidelberg, v. 50, p. 17-22, 2005b.

MALHEIROS, R.D.; MORAES, V.M.B.; BRUNO, L.D.G.; MALHEIROS, E.B.; FURLAN, R.L.; MACARI, M. Environmental temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch. **Journal of Applied Poultry Science**, Stanford, v.9, p. 111-117, 2000.

McARTHUR, A.J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. **Journal of Theoretical Biology**, Amsterdam, v.126, p.203–238, 1987.

MITCHELL, H.H. The surface area of single comb white leghorn chickens. **Journal of Nutrition**, Rockville Pike, v.2, p.443–449, 1930.

REECE, F.N.; LOTT, B.D. The effect of environmental temperature on sensible and latent heat production of broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v.61, n.8, p.1590–1593, 1982.

RICHARDS, S.A. The role of hypothalamic temperature in the control of panting in the chicken exposed to heat. **Journal of Physiology**, Cambridge, v. 211, p. 341-348, 1970.

RICHARDS, S.A. Evaporative water loss in domestic fowls and its partition in relation to ambient temperature. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 87, p. 527–532, 1976.

SILVA, R.G. Trocas térmicas em aves. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 3, p. 88 – 124.

SILVA, R.G. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, n.4, p.1244-1252, 2000.

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

TURNPENNY, J.R.; McARTHUR, A.J.; CLARK, J.A.; WATHES, C.M. Thermal balance of livestock, 1. A parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.101, p. 15-27, 2000a.

TURNPENNY, J. R.; WATHES, C.M.; CLARK, J.A.; McARTHUR, A.J. Thermal balance of livestock, 2. Application of a parsimonious model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.101, p. 29-52, 2000b.

WATHES, C.M.; CLARK, J.A. Sensible heat transfer from the fowl: Boundary-layer resistance of a model fowl. **British Poultry Science**, Abingdon, v.22, n.2, p.161–173, 1981a.

WATHES, C.M.; CLARK, J.A. Sensible heat transfer from the fowl: Radiative and convective heat losses from a flock of broiler chickens. **British Poultry Science**, Abingdon, v.22, n.2, p.185–196, 1981b.

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**, Champaign, v.83, p.253-258, 2004.

YAHAV, S. Alleviating heat stress in domestic fowl: different strategies. **World's Poultry Science Journal**, Ithaca, v.65, p.719-732, 2009.

YANAGI, T.; Jr., XIN, H.; GATES, R.S. Modelling partial surface evaporative cooling of chickens. In: ASAE Annual International Meeting, paper no. 01-3011, Sacramento, St Joseph: ASAE, 2001.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Baseando-se nos resultados desta pesquisa, as conclusões gerais foram:

- Foram estabelecidas as faixas ideais para as variáveis frequência respiratória e temperatura cloacal para as aves durante todo o ciclo de criação. De acordo com os resultados, a linhagem Cobb foi mais tolerante ao estresse térmico em comparação com a linhagem Avian.
- A faixa para a variável fisiológica frequência respiratória, para frangos de corte, sob condição de conforto, situa-se entre 40 e 60 movimentos respiratórios por minuto, independentemente da linhagem estudada.
- A faixa para a variável fisiológica temperatura cloacal, para frangos de corte, sob situação de conforto situa-se entre 39,5°C e 42°C, para ambas as linhagens estudadas.
- Foram propostos modelos para a predição da temperatura superficial corpórea média para frangos de corte, denominados TSM Nascimento, específicos para cada uma das linhagens e para cada semana do ciclo produtivo. Os modelos, ao longo das semanas de criação, incluem três, quatro ou cinco regiões corporais das aves:

TSM Nascimento (°C)	
Semana	Avian
1ª	TSM = 0,17.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,12.Tpata + 0,41.Tdorso + 7,57
2ª	TSM = 0,08.Tasa + 0,07.Tcabeça + 0,18.Tpata + 0,53.Tdorso + 5,92
3ª	TSM = 0,18.Tasa + 0,13.Tpata + 0,56.Tdorso + 2,97
4ª	TSM = 0,20.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,11.Tpata + 0,49.Tdorso + 0,05.Tcrista
5ª	TSM = 0,45.Tasa + 0,08.Tpata + 0,36.Tdorso + 0,13.Tcrista
6ª	TSM = 0,30.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,52.Tdorso + 0,10.Tcrista
Semana	Cobb
1ª	TSM = 0,11.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,15.Tpata + 0,56.Tdorso + 3,47
2ª	TSM = 0,07.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,16.Tpata + 0,47.Tdorso + 7,50
3ª	TSM = 0,23.Tasa + 0,13.Tcabeça + 0,60.Tdorso
4ª	TSM = 0,27.Tasa + 0,16.Tcabeça + 0,07.Tpata + 0,45.Tdorso
5ª	TSM = 0,46.Tasa + 0,07.Tpata + 0,32.Tdorso + 0,12.Tcrista
6ª	TSM = 0,27.Tasa + 0,10.Tcabeça + 0,05.Tpata + 0,50.Tdorso + 0,10.Tcrista

- Pela adoção dos modelos de TSM Nascimento e pela temperatura do núcleo corporal e das variáveis ambientais, foi possível obter o balanço de calor para frangos de corte, caracterizado pelas trocas sensíveis e trocas latentes ao longo das seis semanas de criação;
- Sob conforto térmico, as aves apresentaram maior quantidade de trocas totais durante a 4ª semana do ciclo de produção, com 87% de trocas sensíveis para a linhagem Avian e de 84% para a linhagem Cobb; sob estresse térmico, a menor quantidade de trocas totais foi observada na 3ª semana do ciclo de criação, sendo que para a linhagem Avian as trocas latentes corresponderam a 84% do total, e para a linhagem Cobb, 68%.
- No decorrer do ciclo de criação, sob condição de conforto, as trocas sensíveis corresponderam a aproximadamente 70% das trocas totais para a linhagem

Avian, e 85% para a linhagem Cobb; sob condição de estresse, ao longo das semanas, as trocas sensíveis corresponderam a aproximadamente 60% das trocas totais para ambas as linhagens.