

## **Resfriamento da água utilizada em sistema de climatização evaporativo e o desempenho de frangos de corte**

Cooling of water used in the evaporative air conditioning system and the performance of chickens

Enfriamiento del agua utilizada en el sistema de aire acondicionado evaporativo y el rendimiento de los pollos

Recebido: 12/07/2021 | Revisado: 19/07/2021 | Aceito: 21/07/2021 | Publicado: 29/07/2021

### **Rodrigo Aparecido Jordan**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4461>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [rodrigojordan@ufgd.edu.br](mailto:rodrigojordan@ufgd.edu.br)

### **Rodrigo Garófalo Garcia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4978-9386>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [rodrigogarcia@ufgd.edu.br](mailto:rodrigogarcia@ufgd.edu.br)

### **Sarah Sgavioli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1156-2386>  
Universidade Brasil, Brasil  
E-mail: [sarahsgavioli@gmail.com](mailto:sarahsgavioli@gmail.com)

### **Ítalo Sabião Sanches**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3212-6199>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [italosabiao@hotmail.com](mailto:italosabiao@hotmail.com)

### **Édipo Sabião Sanches**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0783-772X>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [ediposabiao@hotmail.com](mailto:ediposabiao@hotmail.com)

### **Maria Fernanda de Castro Burbarelli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8079-2890>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [fariakita@gmail.com](mailto:fariakita@gmail.com)

### **Bruno Machado Antunes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4222-0787>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [bruno.m.antunes@anhanguera.com](mailto:bruno.m.antunes@anhanguera.com)

### **Elton Aparecido Siqueira Martins**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3195-2317>  
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
E-mail: [eltonmartins@ufgd.edu.br](mailto:eltonmartins@ufgd.edu.br)

### **Resumo**

Dois aviários foram construídos em escala reduzida distorcida e equipados com climatizadores evaporativos. Em um dos aviários foi utilizado um sistema de refrigeração para resfriar a água utilizada no sistema evaporativo, enquanto no outro, foi utilizada água em condição ambiente. Cada aviário recebeu 125 pintainhos da linhagem Cobb com um dia de idade, as quais foram criadas até os 43 dias. Durante o período do experimento foram monitoradas as condições ambientais dos dois aviários: temperatura e umidade relativa do ar e, temperatura da cama. Também foi monitorada a temperatura superficial das aves. Foi avaliado o peso final, o ganho de peso das aves e a viabilidade criatória. Para a temperatura do ar, temperatura da cama, ganho de peso e peso final, não houve diferenças significativas entre os dois aviários. A umidade relativa foi menor para o aviário que operou com água resfriada no climatizador evaporativo, o qual apresentou viabilidade criatória de 90,4%, enquanto que no aviário que operou com água em condição ambiente, a viabilidade criatória foi de 86,4%.

**Palavras-chave:** Temperatura; Umidade relativa; Resfriamento da água; Viabilidade criatória.

### **Abstract**

Two poultry houses were built on a small distorted scale and equipped with evaporative air conditioners. In one of the poultry houses, a cooling system was used to cool the water used in the evaporative system, while in the other, water in ambient conditions was used. Each poultry houses received 125 one-day-old Cobb chicks, which were raised up to 43 days old. During the period of the experiment, the environmental conditions of the two poultry houses were monitored: temperature and relative humidity and litter temperature. The surface temperature of the birds was also

monitored. The final weight, the weight gain of the birds and the creative viability were evaluated. For air temperature, litter temperature, weight gain and final weight, there were no significant differences between the two poultry houses. The relative humidity was lower for the poultry houses that operated with water cooled in the evaporative air conditioner, which presented creative viability of 90.4%, while in that one that operated with water in ambient conditions, the creative viability was 86.4%.

**Keywords:** Temperature; Relative humidity; Water cooling; Creative viability.

### **Resumen**

Se construyeron dos aviarios a pequeña escala distorsionada y se equiparon con acondicionadores de aire por evaporación. En uno de los aviarios se utilizó un sistema de enfriamiento para enfriar el agua utilizada en el sistema evaporativo, mientras que en el otro se utilizó agua en condiciones ambientales. Cada aviario recibió 125 aves de la línea Cob de un día de edad, que fueron criadas hasta los 43 días de edad. Durante el período del experimento, se monitorearon las condiciones ambientales de los dos aviarios: temperatura y humedad relativa y temperatura del lecho. También se controló la temperatura de la superficie de las aves. Se evaluó el peso final, la ganancia de peso de las aves y la viabilidad creativa. Para la temperatura del aire, la temperatura del lecho, la ganancia de peso y el peso final, no hubo diferencias significativas entre los dos aviarios. La humedad relativa fue menor para el aviario que operó con agua enfriada en el aire acondicionado evaporativo, que presentó viabilidad creativa de 90,4%, mientras que en el aviario que operó con agua en condiciones ambientales, la viabilidad creativa fue 86,4%.

**Palabras clave:** Temperatura; Humedad relativa; Enfriamiento por agua; Viabilidad creativa.

## **1. Introdução**

Para se maximizar a produtividade, é imprescindível aliar um elevado potencial genético do plantel a uma alimentação com nível nutricional adequado, em ambiente saudável e ajustado às necessidades das aves (Schiassi, Yanagi, Ferraz, Campos, Silva & Abreu, 2015).

As atuais linhagens de frango de corte selecionadas para melhoria em parâmetros de desempenho possuem alta taxa de crescimento, grande massa, produzem grandes quantidades de poluentes (Kic & Růžek, 2014) e muito calor metabólico cuja dissipação deve ocorrer para manutenção da homeotermia. Nesse contexto, o ambiente de criação pode ser um fator limitante para o crescimento e sobrevivência dos frangos (Macari & Junior, 2000; Oliveira Neto et al., 2000; Sartori, Gonzales, Dal Pai, Oliveira & Macari, 2001; Rosa, Faria Filho, Dahlke, Macari & Furlan, 2007; Farag & Alagawany, 2018).

A instalação adequada dos sistemas de ventilação nos sistemas de criação deve propiciar o conforto ambiental das aves, principalmente, relativo ao ambiente térmico e à qualidade do ar (Bueno & Rossi, 2006; Oloyo & Ojerinde, 2019). O estudo detalhado do clima da região e/ou do local onde será implantada a exploração é determinante na definição do tipo de edificação. Assim, é possível projetar aviários com características construtivas capazes de minimizar os efeitos adversos do clima sobre as aves (Abreu & Abreu, 2011).

Segundo Damasceno, Yanagi Junior, Lima, Gomes e Moraes (2010), um projeto de aviário deverá sempre amenizar as sensações de desconforto térmico para as aves. O ideal é que os produtores adotem tecnologias desenvolvidas através de aviários climatizados, para criar um ambiente confortável na produção.

Em condições de estresse térmico, para minimizar o ganho de calor, as aves demonstram uma série de comportamentos que reduzem a eficiência produtiva e a qualidade de sua carne (Lana, Rostagno, Albino & Lana, 2000; Furtado, Dantas, Nascimento, Santos & Costa, 2006; Zaboli, Huang, Feng & Ahn, 2019). Os frangos aumentam a ingestão de água, eriçam as penas, esticam as asas, aumentam o fluxo sanguíneo periférico (Macari & Junior, 2000), diminuem consumo de ração e seu ritmo de atividade, passando a ficarem parados por mais tempo, na tentativa de minimizar a produção de calor corporal; trata-se de um mecanismo de defesa das aves, uma vez que, ficando paradas, gastam menos energia (Sevegnani, Caror, Pandorfi, Da Silva & De Moura, 2005; Barbosa Filho, Silva, Silva & Silva, 2007) produzindo menos calor. Como consequência, menos nutrientes são disponibilizados para o metabolismo, resultando em menor taxa de crescimento (Abu-Dieyeh, 2006). Além do comportamento, ocorrem alterações metabólicas e fisiológicas nas aves, como redução da disponibilidade de energia, declínio das funções imunológicas e hormonais, redução da digestibilidade e absorção de nutrientes

da dieta, alterações no equilíbrio da microbiota intestinal e aumento do cortisol circulante (Lara & Rostagno, 2013; Farghly, Alagawany & Abd El-Hack, 2018).

Em conjunto com a temperatura ambiente, a umidade relativa e a velocidade do ar são fatores que influenciam o desempenho de frangos de corte (Da Silva, Barbosa Filho, Do Rosário, Da Silva, Da Silva, Savino & Coelho, 2007). A umidade relativa é um fator importante na termorregulação, uma vez que o resfriamento evaporativo é o mecanismo mais importante no controle de temperatura corporal. As aves domésticas não possuem capacidade de suar, por isto a perda evaporativa de calor pelas vias aéreas ocorre pela ofegação (Yahav, Goldfeld, Plavnik & Hurwitz, 1995; Oliveira, Donzele, Abreu, Ferreira, Vaz & Cella, 2006; Pawar et al., 2016).

Muito utilizados para melhorar as condições ambientais em instalações avícolas (Tinôco, Figueiredo, Santos, De Paulo, Vigoderis & Pugliesi, 2002), os sistemas de resfriamento evaporativo (SER) possibilitam, em algumas regiões do Brasil, uma redução de até 11°C na temperatura de bulbo seco (Carvalho, Yanagi Junior, Ferreira, Damasceno & Silva, 2009). O uso de sistemas de resfriamento evaporativo melhora o crescimento dos animais, reduz as taxas de mortalidade e aumenta a renda, proporcionando condições ambientais ideais, como temperatura e umidade relativa em aviários durante os períodos mais quentes (Zajicek & Kic, 2014; Çaylı, Akyüz, Üstün & Yeter, 2021).

No entanto, a eficiência do SER depende fortemente das condições do ar, principalmente, da umidade relativa, com diminuição do potencial de redução de temperatura à medida que essa aumenta (Campos, Klosowski, Gasparino & De Campos, 2002), o que acaba sendo um problema para as condições brasileiras, com climas tropical e subtropical, com elevados valores de temperatura e umidade relativa, principalmente no verão (Machado, Tinôco, Zolnier, Mogami, Damasceno & Zeviani, 2012).

O resfriamento da água é uma forma de aumentar o desempenho e possibilitar a operação de SER em climas úmidos, uma vez que reduz a temperatura de bulbo úmido (Al-Badri & Al-Waaly, 2017).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o sistema de climatização evaporativo, operando com água em condição ambiente e resfriada, sobre as condições ambientais dos aviários e o desempenho dos frangos de corte.

## 2. Metodologia

A pesquisa de laboratório foi desenvolvida em uma área experimental, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, Mato Grosso do Sul, região caracterizada por clima tropical, temperatura média de 26°C com pouca pluviosidade no inverno, com média anual de 1110 mm. A classificação do clima é Aw segundo a Köppen e Geiger. O experimento foi realizado no período de agosto a outubro de 2020. A pesquisa apresentou um estudo de carácter quantitativo, haja vista a necessidade de uma base de dados numéricos submetidos à procedimentos estatísticos (Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka, 2018).

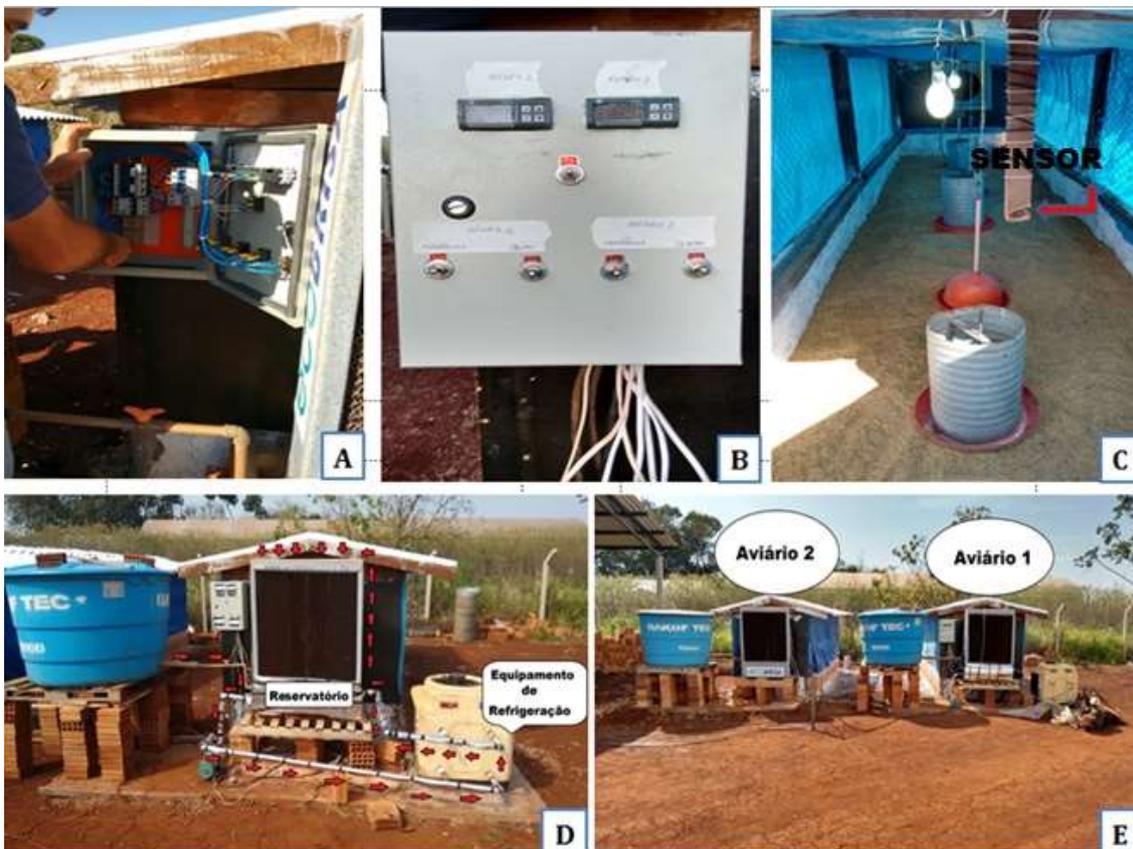
Os aviários, em escala reduzida distorcida (Nääs, Sevegnani, Marcheto, Espelho, Menegassi & Silva, 2001; Welker et al., 2008; Sonoda, 2011), foram construídos seguindo a orientação Leste-Oeste, com dimensões 1,5 X 1,5 X 6 m (largura x altura x comprimento), escala 1:10 na largura e 1:2 na altura, estrutura em eucalipto roliço, contrapiso em cimento alisado, muretas laterais em alvenaria, cobertos com telha de fibrocimento (12% de inclinação) pintada com tinta branca (Sarmiento, Dantas, Furtado, Nascimento & Silva, 2005; Tonoli, Santos, Rabi, Santos & Savastano Junior, 2011; Passini, Araújo, Yasuda & Almeida, 2013).

Os aviários foram equipados com forro e cortinas laterais de lona na cor azul (Abreu, Abreu, Coldebella, Jaenisch & Paiva, 2007; Vercellino et al., 2013), lâmpadas de aquecimento e iluminação, bebedouros, comedouros, cama de frango (palha de arroz), quadros de comando e acionamento dos sistemas elétricos (iluminação, climatizadores, sistema de refrigeração e bombas d'água).

Os dois aviários foram equipados com climatizadores evaporativos, modelo EB-100 (Fabricante: Ecobrisa), que possuíam as seguintes características: vazão de 6000 m<sup>3</sup>/h, potência elétrica de 208 W e dimensões de 119 X 97 X 81 cm. Para fornecimento de água aos climatizadores evaporativos, foram instalados reservatórios individuais, em fibra de vidro, com volume de 1000 litros cada. O sistema de ventilação adotado foi o positivo, com os climatizadores forçando o ar para dentro dos aviários (Moraes, 2002).

Os aviários foram identificados como “Aviário 1” e “Aviário 2”, conforme Figura 1E. O Aviário 2 recebeu a instalação do climatizador evaporativo, sem modificações, utilizando água na condição ambiente. No Aviário 1 foi instalado um sistema de refrigeração para resfriar a água utilizada no climatizador evaporativo (Figura 1D).

**Figura 1.** A: automação do sistema; B: painel de controle; C: vista interna do aviário; D: sistema de climatização do aviário 1; E: vista externa dos aviários.



Fonte: Autores (2020).

O acionamento dos climatizadores (forçador de ar e bomba de umidificação) era feito através de controladores digitais de temperatura, os quais recebiam informação de sensores de temperatura instalados na lateral oposta aos climatizadores, no ponto mais distante deste, onde se tem a pior condição do ar.

Foram utilizadas 250 aves com um dia de idade, machos, da linhagem Cobb. As aves receberam ração e água *ad libitum* durante todo o período experimental. As dietas foram à base de milho e farelo de soja ajustadas de acordo com a fase (inicial: 1-21 dias e final: 22 a 42 dias de idade), seguindo as exigências nutricionais estabelecidas por Rostagno et al. (2011).

Para medição da temperatura corporal, foram selecionadas 15 aves de cada aviário. A temperatura superficial foi registrada semanalmente com uma câmera termográfica Testo®, com precisão de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e no espectro de 7,5 - 13  $\mu\text{m}$ . As

imagens (Figura 2) foram utilizadas para determinar a temperatura de quatro regiões do corpo (asa, cabeça, perna e dorso), a fim de se obter a temperatura superficial média (TSC), de acordo com Richards (1971), usando a Equação 1.

$$TSC = (0,12.T_{asa}) + (0,003.T_{cabeça}) + (0,15.T_{perna}) + (0,70.T_{dorso}) \quad (1)$$

**Figura 2.** Seleção das áreas específicas de um pinto (Ar1: cabeça; Ar2: pescoço; Ar3: dorso; Ar4: asa; Ar5: perna).



Fonte: Autores (2020).

A obtenção das temperaturas superficiais das diferentes regiões das aves, a partir das imagens termográficas, foi realizada com software IRSoft da Testo®, delimitando-se as áreas corporais específicas das aves, mantendo-se constante o formato e tamanho das áreas para cada região em todas as aves. A emissividade adotada para a superfície da ave foi de 0,98, como proposto por Nääs, Moura e Langana (1995).

A coleta de dados de temperatura e umidade relativa no interior dos aviários foi realizada diariamente com termohigrômetros digitais modelo 7429 TFA, da marca INCOTERM, instalados na parte central de cada aviário, na altura das aves. As leituras eram feitas em três horários diferentes do dia (7:00, 13:00 e 16:00 h), para abranger a maior variação possível de temperatura. Nos mesmos horários também eram realizadas as leituras de temperatura das camas, com um termômetro infravermelho modelo GM300, da marca BENETECH. As medidas foram coletadas em três pontos dentro de cada aviário (frente, meio e fim). Posteriormente, determinava-se a temperatura média e a média semanal.

Aos 43 dias de idade, todas as aves dos aviários foram atordoadas com CO<sub>2</sub> e abatidas por sangria. Para os dados de desempenho foram avaliados o ganho de peso e o peso médio calculados de 1 a 21 e de 22 a 42 dias de idade. A mortalidade foi registrada diariamente para o cálculo da viabilidade criatória. A viabilidade foi calculada pela diferença entre o número de aves alojadas e o número de aves retiradas para o abate.

Para a avaliação dos rendimentos foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) cosendo considerados os sistemas de climatização como tratamentos. Para os parâmetros de temperatura, umidade relativa das instalações e temperatura da cama, foi utilizado um esquema fatorial 2x6x3 (dois tratamentos de climatização: com e sem resfriamento da água; seis idades: 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias; e, três tempos: 07:00, 13:00 e 16:00 h, como parcelas subdivididas).

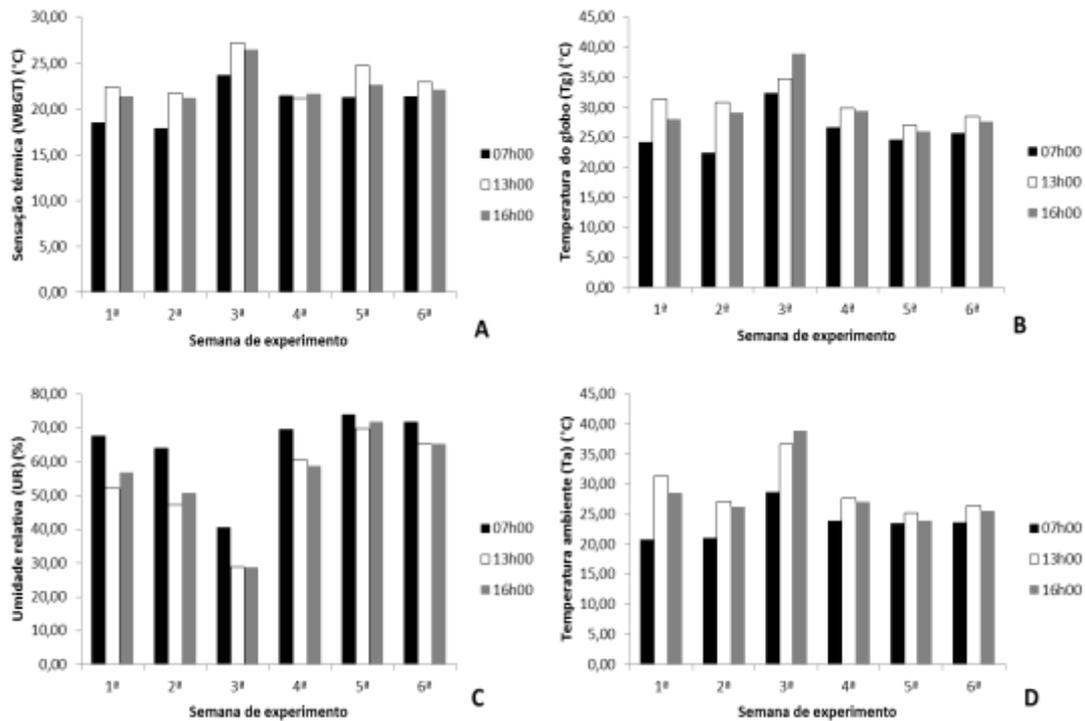
Para a temperatura superficial corporal, foi utilizado um esquema fatorial 2x6 (os dois tratamentos de climatização e as seis idades, como parcelas subdivididas). Mesmo com os controladores dos dois aviários recebendo o mesmo ajuste de temperatura, essa foi considerada como um fator, na hipótese de que algum dos sistemas não fosse capaz de mantê-la dentro da fixa pré-estabelecida.

Os dados foram analisados com o pacote STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Antes das análises propriamente ditas, os dados foram analisados em relação à presença de informações discrepantes (“outliers”) e normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk). Adicionalmente, as comparações de médias entre os tratamentos foram realizadas através do teste de Tukey ajustado. Para todos os testes realizados foi adotado o nível de significância de 5%.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra os valores dos parâmetros externos durante o período de realização do experimento: sensação térmica (WBGT), temperatura de globo negro, umidade relativa e temperatura ambiente.

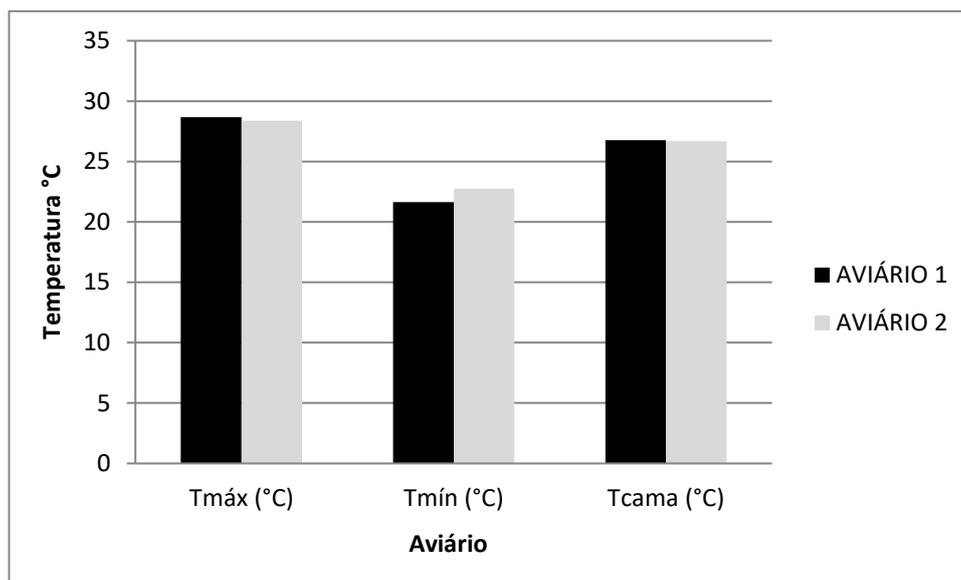
**Figura 3.** A: sensação térmica; B: temperatura do globo negro; C: umidade relativa do ar e D: temperatura ambiente.



Fonte: Autores (2020).

A Figura 4 mostra os valores médios de temperatura da cama e das temperaturas mínima e máxima no interior dos aviários.

**Figura 4.** Valores médios de temperatura máxima e mínima do ambiente e temperatura da cama.



Fonte: Autores (2020).

Para os valores apresentados na Figura 4 não houve diferença estatística significativa. De forma geral, as temperaturas máximas foram semelhantes para os dois aviários, conforme detalhado na Tabela 1. A média geral dos valores mínimos e máximos ficaram na faixa entre 22 e 28 °C, demonstrando que ambos os sistemas não conseguiram manter a temperatura abaixo do valor máximo especificado, que foi de 24 °C.

**Tabela 1.** Desdobramento das interações entre aviário e idade para temperatura máxima e umidade máxima e mínima.

Tmáx (°C)	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	35 dias	42 dias	P
Aviário1	35,03±0,38Aa	30,66±0,85B	22,48±0,76D	28,54±0,32C	27,23±0,67C	28,45±0,44C	<,0001
Aviário 2	31,52±0,88Ab	30,04±0,69AB	23,90±0,66E	29,49±0,51BC	27,49±0,58D	27,97±0,39DC	<,0001
P	0,0002	0,4902	0,1146	0,2937	0,7743	0,5919	
URmáx (%)							
Aviário1	57,05±3,78CDb	52,05±3,54Db	77,43±2,62Bb	62,29±3,63Cb	72,43±4,04Bb	88,86±2,26A	<,0001
Aviário 2	65,58±4,24Ca	69,48±3,42Ca	92,38±1,96Aa	79,62±3,03Ba	86,76±2,49ABa	91,86±1,49A	<,0001
P	0,0376	<,0001	<,0001	<,0001	0,0001	0,4159	

Letras distintas, minúsculas e maiúsculas, na coluna e na linha, respectivamente diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). P: probabilidade. Fonte: Autores (2020).

A temperatura ambiente dos aviários deve decrescer com a idade das aves, sendo recomendadas para as idades de 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias, as respectivas faixas: 33 - 35 °C; 29 - 32 °C; 26 - 29 °C; 23 - 26 °C; 20 - 23 °C; 19 - 20 °C (Vantress, 2012; Ross, 2014). Assim, de acordo com os resultados da Tabela 1, para os dois aviários, a temperatura máxima do ar permaneceu acima do valor máximo recomendado nas três últimas semanas (28, 35 e 42 dias), demonstrando uma deficiência dos sistemas em manter a temperatura dentro da faixa recomendada.

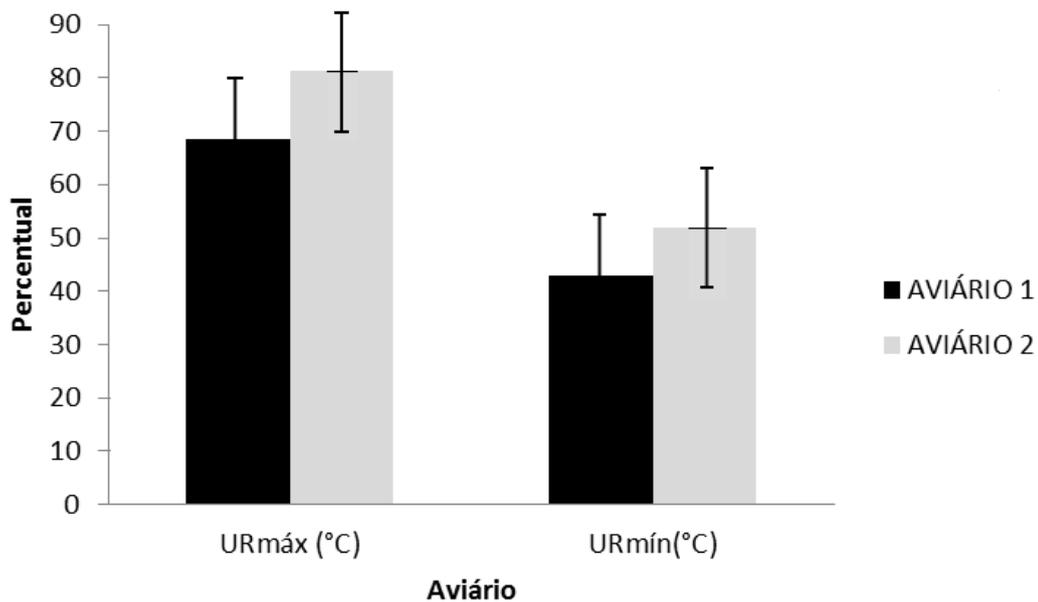
O fato dos reservatórios de água não possuírem isolamento térmico e ficarem totalmente expostos ao sol, favoreceu a transferência de calor do ambiente para a água, prejudicando o desempenho dos sistemas, principalmente, no caso do aviário 1, com sistema de resfriamento da água. O uso de um reservatório maior também melhoraria o desempenho desse sistema, pois possibilitaria a termo-acumulação de água gelada durante o período noturno, mais propício ao funcionamento do equipamento de refrigeração, o qual forneceria uma carga térmica adicional durante o dia.

A menor temperatura máxima registrada em ambos os aviários, ocorrida aos 21 dias (Tabela 1), coincidiu com o período de condição ambiente externa com maior temperatura e menor umidade relativa (Figura 3), uma vez que a baixa umidade relativa favorece a operação dos sistemas de resfriamento evaporativo (Campos et al., 2002).

O aviário 1 foi o que apresentou menor valor de umidade relativa máxima em todas as idades de criação. A umidade relativa do ar recomendada varia entre 50 a 65% de umidade para a fase de crescimento (21 a 28 dias) e 50 a 70% para a fase final (35 a 42 dias de idade) (Cobb, 2012). O aviário 1 foi o que se manteve mais próximo dessa faixa.

Para os valores de umidade relativa máxima e mínima houve diferença estatística, sendo que os maiores valores foram observados para o aviário 2 (Figura 5), o qual utilizou água em condição ambiente no resfriador evaporativo.

**Figura 5.** Valores médios de umidade relativa máxima e mínima para os dois aviários.



Fonte: Autores (2020).

O comportamento distinto da umidade relativa nos dois aviários, apesar de apresentarem comportamento similar de temperatura, esteve diretamente relacionado a temperatura da água utilizada nos resfriadores evaporativos. Aziz, Mainil, Mainil & Listiono (2017) avaliando a influência da temperatura da água e da vazão de ar em um resfriador evaporativo direto, verificaram que a umidade relativa tendeu a aumentar com o aumento da temperatura e, que a eficiência de resfriamento aumentou com a redução da temperatura da água.

Quando a água é utilizada em condição ambiente, com temperatura acima da temperatura de ponto de orvalho do ar que entra no resfriador evaporativo, o resfriamento se dá pelo processo de saturação adiabática, ocorrendo umidificação do ar, o qual sai numa condição de umidade relativa próximo ou igual a 100%. Quando a água é resfriada abaixo da temperatura de ponto de orvalho do ar que entra no resfriador evaporativo, ocorre a desumidificação desse ar (Al-Badri & Al-Waaly, 2017; Velasco-Gómez, Tejero-González, Jorge-Rico & Rey-Martínez, 2020). Tem-se, nesse caso, um comportamento inverso, onde parte da água presente no ar acaba sendo removida pelo resfriamento abaixo do ponto de orvalho.

Houve interação ( $P < 0,05$ ) entre aviário e tempos para valores mínimos de temperatura e umidade relativa. Os menores valores de temperatura e umidade relativa mínimos, para ambos os aviários, foram registrados às 7:00 h, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Desdobramento das interações entre aviário e tempo para temperatura e umidade mínima.

	07:00h	13:00h	16:00h	P
<b>T<sub>mín</sub> (°C)</b>				
Aviário 1	18,94±0,45C	21,53±0,60B	24,47±0,73A	<,0001
Aviário 2	19,96±0,40C	26,68±0,51A	25,57±0,67B	<,0001
P	0,1444	0,0941	0,0967	
<b>UR<sub>mín</sub> (%)</b>				
Aviário 1	40,76±3,26	42,52±3,11b	45,36±3,40b	0,5306
Aviário 2	39,71±4,49B	58,79±3,21Aa	56,57±3,60Aa	<,0001
P	0,8859	0,0003	0,0118	

Letras distintas, minúsculas e maiúsculas, na coluna e na linha, respectivamente diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). P: probabilidade. Fonte: Autores (2020).

Com relação a temperatura superficial das aves (TSC) (Tabela 3), houve efeito de interação entre idades e aviários (P=0,0093). Para o aviário 1 houve efeito (P<0,05) das idades para a TSC, com maior temperatura aos 21 dias, não diferindo dos 7 dias de idade. Para o aviário 2 a maior TSC ocorre aos 7, 14 e 21 dias de idade (P<0,05).

**Tabela 3.** Desdobramento da interação entre idades e aviários para a temperatura superficial das aves (°C).

Idades	Aviário 1	Aviário 2	P
7	31,97±0,53ab	32,25±0,37a	0,6081
14	31,04±0,29bc	32,11±0,20a	0,0565
21	33,20±0,39a	32,72±0,52a	0,3828
28	30,87±0,22c	30,63±0,15b	0,6607
35	28,44±0,32d	27,82±0,35c	0,2582
42	28,47±0,15Ad	26,35±0,64Bd	0,0006
P	<,0001	<,0001	

Letras distintas, minúsculas e maiúsculas, na coluna e na linha, respectivamente diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). P: probabilidade. Fonte: Autores (2020).

Para manutenção das funções fisiológicas os frangos de corte possuem altas demandas energéticas, e consequente produção de calor, o que demonstra a importância da necessidade de dissipação do excesso de calor para o ambiente para uma eficiente manutenção da temperatura corporal normal. O desenvolvimento corporal, da musculatura do peito e altas taxas metabólicas são fatores que geram dificuldades para que os frangos consigam manter o equilíbrio térmico em função do crescimento, devido à limitação da área de superfície disponível para troca de calor por convecção (Tickle, Paxton, Rankin, Hutchinson & Codd, 2014; Tickle, Hutchinson & Codd, 2018).

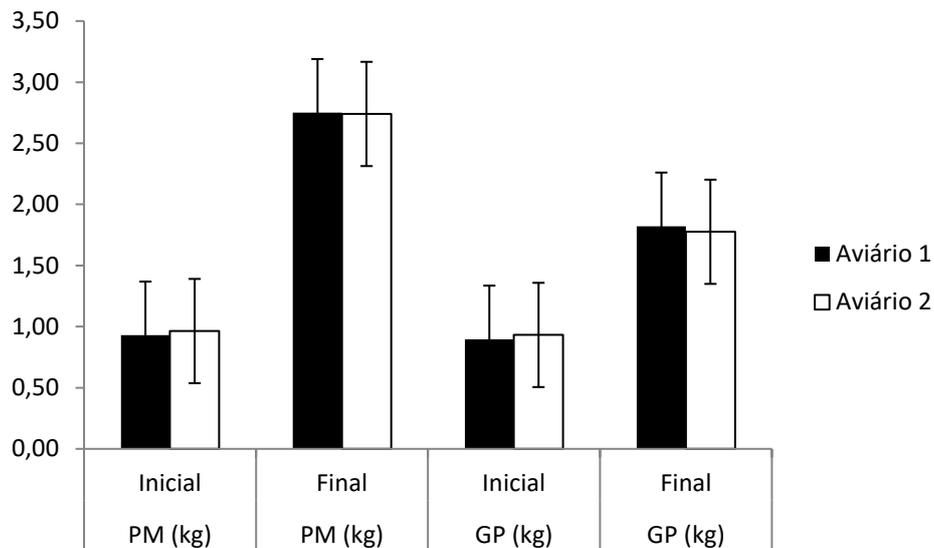
Yahav, Goldfeld, Plavnik e Hurwitz (1995) estudando a resposta fisiológica de frangos de corte em diferentes condições de umidade relativa, expostos a elevada temperatura (35°C), registraram maior temperatura para as aves expostas a menor faixa de umidade relativa (40-45%). Nota-se que até 21°C impera a troca de calor sensível. Em temperaturas mais elevadas, a perda de calor passa a ser latente, pela evaporação através da respiração (Oliveira et al., 2006; Welker et al., 2008).

A influência da umidade relativa do ar está relacionada justamente a perda de calor latente, quando a umidade relativa está mais baixa como o encontrado por Yahav et al., (1995), a temperatura superficial pode se elevar, porém a temperatura cloacal mantém-se estável, o que indica que a ave está trocando calor com o ambiente de forma eficiente, perdendo água para o

ambiente, como mencionado por estes mesmos autores. Quando a umidade relativa do ar se eleva, há o desenvolvimento da alcalose respiratória, ocasionada pela hiperventilação e compensação renal insuficiente do bicarbonato produzido, devido à redução da perda de água para o ambiente, prejudicando a regulação da temperatura corporal do animal (Tickle et al., 2018).

Na Figura 6 são apresentados os resultados para os dados de desempenho das aves. Pode-se observar, por meio de análise descritiva, que não houve diferença estatística significativa para o peso médio e ganho de peso entre as aves alojadas nos aviários 1 e 2.

**Figura 6.** Peso médio e ganho de peso das aves nas fases inicial (1 a 21 dias de idade) e final (22 a 42 dias de idade), de acordo com os aviários.

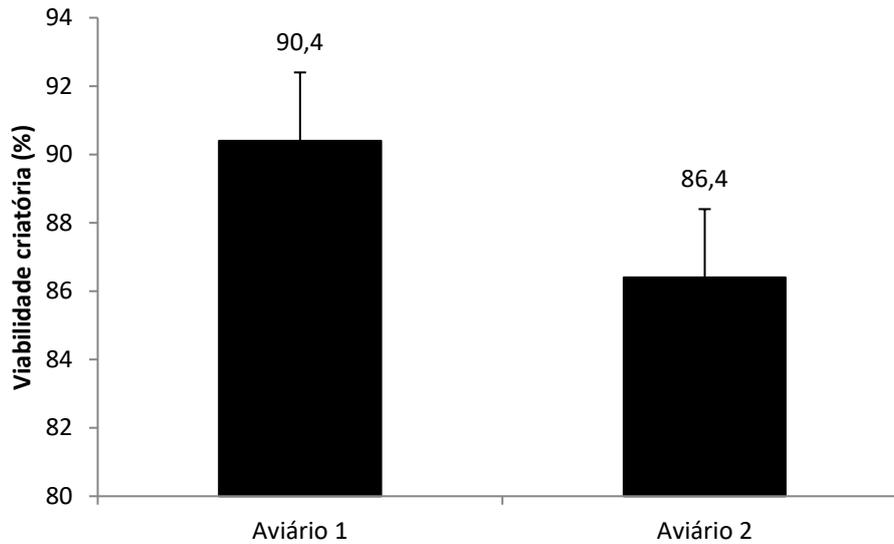


Fonte: Autores (2020).

Yahav et al. (1995), observaram que, sob temperatura elevada, aves criadas em condição de umidade relativa entre 60-65%, obtiveram maior ganho de peso do que aquelas criadas com umidade relativa entre 70-75%. Oliveira et al. (2006), avaliando o efeito da temperatura e da umidade relativa no desempenho de frango de cortes, observaram que a umidade relativa elevada acentuou os efeitos negativos do calor sobre o consumo de ração, o ganho de peso e o rendimento dos cortes.

Para a viabilidade criatória (Figura 7), houve diferença significativa entre os aviários, com maior viabilidade para o aviário 1 (90,40%), quando comparado com o aviário 2 (86,40%). Nesse caso, a umidade relativa parece ter sido fator preponderante.

**Figura 7.** Viabilidade criatória das aves de acordo com os aviários.



Fonte: Autores (2020).

Macari e Gonzales (1990) e Bottcher e Czarick (1997) atribuem a alta temperatura ambiental como o fator principal que influencia a produtividade e a mortalidade, especialmente em frangos de corte a partir dos 35 dias de idade. De acordo com Czarick e Lacy (1999) e Oliveira, De Sousa e Tinôco (2020), a ventilação ameniza o efeito de temperaturas ambientais elevadas, diminuindo a sensação térmica e o melhorando o conforto térmico das aves.

De acordo com Baêta e Souza (1997), a temperatura e a umidade relativa são extremamente correlacionados em relação ao conforto térmico das aves, uma vez que em elevadas temperaturas o principal meio de dissipação de calor é a evaporação, a qual depende fortemente da umidade relativa do ar.

A redução na viabilidade criatória observada para os frangos de corte provenientes do aviário 2 provavelmente estão relacionadas as alterações fisiológicas e metabólicas decorrentes da redução do conforto térmico ao qual foram expostas, estas respostas ocorrem quanto aos parâmetros bioquímicos do sangue, sistema imunológico, estado oxidativo, hormônios da tireóide, equilíbrio mineral e osmorregulação e microbioma intestinal e ileal. Quaisquer alterações individualmente ou conjuntas nestes sistemas possuem impactos negativos ao desempenho das aves de produção (Farg & Alagawany, 2018). O uso do resfriamento do aviário com água refrigerada ocasionou menores índices de umidade relativa máxima e mínima, colaborando para a manutenção de um ambiente favorável ao desempenho das aves, como observado pela maior viabilidade criatória.

Segundo Leeson e Summers (2005), as condições de alta temperatura e baixa umidade relativa (32°C e 40%) são muito bem toleradas pela ave, enquanto a alta temperatura e alta umidade relativa são problemáticas, nestas condições, mesmo com as aves apresentando intensa ofegação há uma acentuada redução da capacidade de perdas evaporativas (Pawar et al. (2016).

#### 4. Conclusão

O uso de água resfriada no sistema de resfriamento evaporativo propiciou menor umidade relativa no interior do aviário, criando condições ambientais mais favoráveis, mesmo em condições de temperaturas mais elevadas, o que levou a uma maior viabilidade criatória.

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se medir e avaliar o consumo de energia do sistema de refrigeração utilizado para resfriar a água utilizada no resfriador evaporativo, podendo estender o estudo para uma avaliação econômica. Outra sugestão é realizar um estudo de desempenho do resfriamento evaporativo com resfriamento de água operando em sistema fechado, tendo em vista que no presente trabalho foi realizado em sistema com renovação total de ar.

## Referências

- Abreu, P.G., Abreu, V. M. N., Coldebella, A., Jaenisch, F. R. F. & Paiva, D. P. (2007). Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59(4), 1014-1020. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000400030>.
- Abreu, V. M. N. & Abreu, P. G. (2011). Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(256), 1-14. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42704/1/os-desafios-da-ambiencia-sobre-os-sistemas.pdf>.
- Abu-Dieyeh, Z. H. M. (2006). Effect of chronic heat stress and long-term feed restriction on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*, 5(2), 185-190. ISSN: 1994-7992. <https://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ijps/2006/185-190.pdf>.
- Al-Badri, A. R. & Al-Waaly, A. A. Y. (2017). The influence of chilled water on the performance of direct evaporative cooling. *Energy Build*, 155, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.021>.
- Aziz, A., Mainil, R. I., Mainil, A. K. & Listiono, H. (2017). *Effect of water temperature and air stream velocity on performance of direct evaporative air cooler for thermal comfort*. In AIP Conference Proceedings, 1788(1), 030024. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.4968277>.
- Baêta, F.C. & Souza, C.F. (1997). *Ambiência em edificações rurais, conforto animal*. Universidade Federal de Viçosa. 246p.
- Barbosa Filho, J. A. D.; Silva, I. J. O.; Silva, M. A. N. & Silva, C. J. M. (2007). Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. *Engenharia Agrícola*, 27(1), 93-99. : <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000100002>.
- Botcher, R. W. & Czarick, M. (1997). *Tunnel ventilation and evaporative cooling for poultry*. NC Cooperative Extension Service, 1997.
- Bueno, L.; Rossi, L. A. (2006). Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 497-504. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200035>.
- Campos, A. T., Klosowski, E. S., Gasparino, E. & De Campos, A. T. (2002). Estudo do potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá-PR. *Acta Scientiarum*, Maringá, 24(5), 1.575-1.581. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2424>.
- Carvalho, V. F., Yanagi Junior, T., Ferreira, L., Damasceno, F. A. & Silva, M. P. (2009). Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(3), 358-366. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300020>.
- Çaylı, A., Akyüz, A., Üstün, S. & Yeter, B. (2021). Efficiency of two different types of evaporative cooling systems in broiler houses in Eastern Mediterranean climate conditions. *Thermal Science and Engineering Progress*, 22, 100844. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100844>.
- Cobb (2012). *Manual de Manejo de frangos de corte*. [https://irvineschicken.co.mz/wp-content/uploads/Manual-de-Manejo-de-Frangos-de-Corte\\_COBB.pdf](https://irvineschicken.co.mz/wp-content/uploads/Manual-de-Manejo-de-Frangos-de-Corte_COBB.pdf).
- Czarick, M. & Lacy, P. M. (1999). *Importance of air movement vs. bird age*. Technical Bulletin. University of Georgia of Agriculture, Athens, Georgia, USA. p16.
- Damasceno, F. A., Yanagi Junior, T., Lima, R. R., Gomes, R. C. C. & Moraes, S. R. P. (2010). Avaliação do bem-estar de frangos de corte em dois galpões comerciais climatizados. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(4), 1031-1038. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000400033>.
- Da Silva, M. A. N., Barbosa Filho, J. A. D., Do Rosário, M. F., Da Silva, C. J. M., Da Silva, I. J. O., Savino, V. J. M. & Coelho, A. A. D. (2007). Fatores de estresse associados à criação de linhagens de avós de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(3), 652-659. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300019>.
- Farag, M. R., & Alagawany, M. (2018). Physiological alterations of poultry to the high environmental temperature. *Journal of thermal biology*, 76, 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.07.012>.
- Farghly, M. F. A., Alagawany, M., & Abd El-Hack, M. E. (2018). Feeding time can alleviate negative effects of heat stress on performance, meat quality and health status of turkey. *British poultry science*, 59(2), 205-210. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1413233>.
- Furtado, D. A., Dantas, R. T., Nascimento, J. W. B., Santos, J. T. & Costa, F. G. P. (2006). Efeitos de diferentes sistemas de condicionamento ambiente sobre o desempenho produtivo de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 10(2), 484-489. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200033>.
- Kic, P. & Růžek, L. Microbiological environment in special rooms of University campus. (2014). *Agronomy Research* 12(1), 837-842. [https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2014/05/2014\\_3\\_18\\_b5.pdf#abstract-3268](https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2014/05/2014_3_18_b5.pdf#abstract-3268).
- Lana, G. R. Q., Rostagno, H. S., Albino, L. F. T. & Lana, A. M. Q. (2000). Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição da carcaça de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2(4), 1117-1123. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000400024>.

- Lara, L.J. & Rostagno, M.H. (2013). Impact of heat stress on poultry production. *Animals* 3, 356–369. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>.
- Leeson, S. & Summers, J. D. (2005). Feeding programs for broiler chickens. *Commercial poultry nutrition*, 281-284.
- Macari, M. & Gonzales, E. (1990). Fisiopatogenia da Síndrome da Morte Súbita em Frangos de Corte (Physiopathogeny of Broiler's Sudden Death Syndrome). In: *Conferência APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas*. p. 65-73.
- Macari, M. & Júnior, A. B. Doenças das aves. (2000). *Campinas: Facta*, p. 242-243.
- Moraes, S. R. P. (2002). *Caracterização de sistemas de semi climatização de ambiente, em galpões para frango de corte, no sudoeste de Goiás*. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa
- Machado, N. S., Tinôco, I. F. F., Zolnier, S., Mogami, C. A., Damasceno, F. A. & Zeviani, W. M. (2012). Resfriamento da cobertura de aviários e seus efeitos na mortalidade e nos índices de conforto térmico. *Nucleus*, 9(2), 59-73. 10.3738/1982.2278.718.
- Mohler, Forrest S. & Heath, James E. (1988). Comparison of IR thermography and thermocouple measurement of heat loss from chickens pinna. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 254(2), R389-R395. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1988.254.2.R389>.
- Nääs, I. A., Moura, D. J. & Langana, C. A. (1995). *A amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte*. In: Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 203-204.
- Nääs, I. A., Sevegnani, K. B., Marcheto, F. G., Espelho, J. C. C., Menegassi, V. & Silva, I. J. O. (2001). Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. *Revista Engenharia Agrícola*, 21(2), 121-126.
- Oliveira, R. F. M., Donzele, J. L., Abreu, M. L. T., Ferreira, R. A., Vaz, R. G. M. V. & Cella, P. S. (2006). Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 797-803. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000300023>.
- Oliveira, C. E. A., De Sousa, F. C., & Tinôco, I. D. F. F. (2020). VENTILATION IN ANIMAL FACILITIES. In VI WORKSHOP ON BIOSYSTEMS ENGINEERING WEB 6.0 (04th and 05th November 2020) (Vol. 6, p. 122).
- Oliveira Neto, A. R., Oliveira, R. F. M., Donzele, J. L., Rostagno, H. S., Ferreira, R. A., Maximiano, H. C. & Gasparino, E. (2000). Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e características de carcaça de frangos de corte alimentados com dietas controladas e dois níveis de energia metabolizável. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, 29, 183-190. <https://doi.org/10.1590/S1516-3598200000100025>.
- Oloyo, A. & Ojerinde, A. (2019). Poultry Housing and Management. In *Poultry*; Intech Open
- Passini, R., Araújo, M. A. G., Yasuda, V. M. & Almeida, E. A. (2013). Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(3), 333–338. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300013>.
- Pawar, S. S., Sajjanar, B., Lonkar, V. D., Kurade, N. P., Kadam, A. S., Nirmale, A. V., Brahmane, M. P. & Bal, S. K. (2016). Assessing and mitigating the impact of heat stress in poultry. *Advances Animal and Veterinary Sciences*, 4(6), 332-341. <http://dx.doi.org/10.14737/journal.aavs/2016/4.6.332.341>.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM. [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).
- Richards, S. A. 1971. The significance of changes in the temperature of the skin and body core of the chicken in the regulation of heat loss. *The Journal of Physiology*. 216(1), 1-10. 10.1113/jphysiol.1971.sp009505.
- Rosa, O. S., Faria Filho, D. E., Dahlke F., Vieira, B.S., Macari, M. & Furlan, R. L. (2007). Performance and carcass characteristics of broiler chickens with different growth potential and submitted to heat stress. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 9(3), 181-186. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000300007>.
- Ross. (2014). *Broiler management handbook*. <http://goldenpoultry.com/wp-content/uploads/2014/09/Ross-Broiler-Handbook-2014i-EN.pdf>.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura N. K., Perazzo, F. G., Saraiva, A., Teixeira, M. L., Rodrigues, P. B., De Oliveira, R. F., Barreto, S. L. T. & Brito, C. O. (2011). Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais, 2, 186.
- Sarmento, L. G. V., Dantas, R. T., Furtado, D. A., Nascimento, J. W. B., Silva, J. H. V. (2005). Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. *Agropecuária Técnica*, 26(2), 117-122.
- Sartori J. R., Gonzales, E., Dal Pai, V., Oliveira, H. N. & Macari, M. (2001). Efeito da temperatura ambiente e da restrição alimentar sobre o desempenho e a composição de fibras musculares esqueléticas de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*; 30(6), 1779-1790. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000700016>.
- Schiassi, L., Yanagi, T., Ferraz, P. F., Campos, A. T., Silva, G. R., & Abreu, L. H. (2015). Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. *Engenharia Agrícola*, 35, 390-396. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p390-396/2015>.
- Sevegnani, K. B., Caror, I. W., Pandorfi, H., Da Silva, I. J. O. & De Moura, D. J. (2005). Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(1), 115-119. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100017>.
- Sonoda, L. T. (2011). Reutilização de camas de frango utilizando conceitos de compostagem. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Tickle, P. G., Paxton, H., Rankin, J. W., Hutchinson, J. R., & Codd, J. R. (2014). Anatomical and biomechanical traits of broiler chickens across ontogeny. Part I. Anatomy of the musculoskeletal respiratory apparatus and changes in organ size. *PeerJ*, 2, e432. <https://doi.org/10.7717/peerj.432>.

- Tickle, P. G., Hutchinson, J. R., & Codd, J. R. (2018). Energy allocation and behaviour in the growing broiler chicken. *Scientific reports*, 8(1), 1-13. ISSN: 2045-2322. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22604-2>.
- Tinôco, I. F. F., Figueiredo, J. L. A., Santos, R. C., De Paulo, M. O., Vigoderis, R. B. & Pugliesi, N. L. (2002). Avaliação de materiais alternativos utilizados na confecção de placas porosas para sistemas de resfriamento adiabático evaporativo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(1), 147-150. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100026>.
- Tonoli, G. H. D., Santos, S. F. D., Rabi, J. A., Santos, W. N. D., & Savastano Junior, H. (2011). Thermal performance of sisal fiber-cement roofing tiles for rural constructions. *Scientia Agricola*, 68(1), 1-7. <https://www.scielo.br/j/sa/a/yZH6PmKrRPtTm5k6x3Pbx9f/?lang=en&format=pdf>.
- Yahav, S., Goldfeld, S., Plavnik, I., & Hurwitz, S. (1995). Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. *Journal of Thermal Biology*, 3(20), 245-253. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-dd882ef4-12c6-3905-a533-f345b9875f8b>.
- Vantress, Cobb. (2012). Cobb broiler management guide. *Cobb-Vantress, Siloam Springs, AR, USA*.
- Velasco-Gómez, E., Tejero-González, A., Jorge-Rico, J., & Rey-Martínez, F. J. (2020). Experimental investigation of the potential of a new fabric-based evaporative cooling pad. *Sustainability*, 12(17), 7070. ISSN: 2071-1050. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12177070>.
- Vercellino, R. D. A., De Moura, D. J., Nääs, I. D. A., Maia, A. P. D. A., Medeiros, B. B. L., Salgado, D. D. A., & De Carvalho, T. R. M. (2013). The influence of side-curtain color on broiler chick behavior. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15(3), 173-179. <https://www.scielo.br/j/rbca/a/gPtKG8hdBWXd8t6TjPCZQtr/?lang=en&format=pdf>.
- Welker, J. S., Rosa, A. P., Moura, D. J. D., Machado, L. P., Catelan, F., & Uttpatel, R. (2008). Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(8), 1463-1467. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000800018>.
- Zaboli, G., Huang, X., Feng, X. & Ahn, D. U. (2019). How can heat stress affect chicken meat quality?—a review. *Poultry science*, 98(3), 1551-1556. <https://doi.org/10.3382/ps/pey399>.
- Zajicek, M., & Kic, P. (2014). Heating of large agricultural and industrial buildings. *Agronomy Research*, 12(1), 237-244. [https://agronomy.emu.ee/vol121/2014\\_1\\_27\\_b5.pdf](https://agronomy.emu.ee/vol121/2014_1_27_b5.pdf).