

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Marcos Túlio Viana Beja

**ANALISE DAS VARIAÇÕES TÉRMICAS E A EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE
VENTILAÇÃO NA REGULAÇÃO DO MICROCLIMA INTERNO EM AVIÁRIOS**

São João Evangelista

2025

MARCOS TÚLIO VIANA BEJA

ANALISE DAS VARIAÇÕES TÉRMICAS E A EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NA REGULAÇÃO DO MICROCLIMA INTERNO EM AVIÁRIOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Jonathan da Rocha Miranda

São João Evangelista

2025

B423a Beja, Marcos Túlio Viana.

Análise das variações térmicas e a eficiência dos sistemas de ventilação na regulação do microclima interno em aviários / Marcos Túlio Viana Beja – 2025.
41f.: il.

Orientador: Dr. Jonathan da Rocha Miranda.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2025.

1. Ambiência. 2. Conforto térmico. 3. ITU. 4. Avicultura. 5. Ventilação. I. Beja, Marcos Túlio Viana. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 636.5

Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333


Marcos Túlio Viana Beja

ANALISE DAS VARIAÇÕES TÉRMICAS E A EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NA REGULAÇÃO DO MICROCLIMA INTERNO EM AVIÁRIOS


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista para obtenção do grau de bacharel em Agronomia.

Orientador: Jonathan da Rocha Miranda


Aprovado em: 28/02/2025 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **JONATHAN DA ROCHA MIRANDA**
Data: 11/03/2025 13:42:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Jonathan da Rocha Miranda (Orientador) - IFMG

Documento assinado digitalmente
 **CLARICE SILVA CESARIO**
Data: 10/03/2025 20:50:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Clarice Silva Cesário - IFMG

Documento assinado digitalmente
 **ADELITON DA FONSECA DE OLIVEIRA**
Data: 10/03/2025 21:37:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Adeliton da Fonseca de Oliveira - IFMG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo milagre da vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo de minha vida acadêmica.

Aos meus pais, Zilio e Auxiliadora que me deram condições, apoio e amor nos momentos de dificuldade.

Aos meus familiares, pelas orações, pelos incentivos e por compreenderem minha ausência durante os períodos de estudo.

À minha namorada Luana, pelos conselhos, incentivo e apoio sempre em busca de crescimento.

Aos meus amigos, principalmente, Túlio Rodrigues, Evandro Pereira e Vinícius Azevedo pela parceria e troca de conhecimentos durante o curso.

Ao meu Professor e Orientador Jonathan da Rocha Miranda, que não mediu esforços para orientação e excelência do trabalho.

Aos professores do curso de Agronomia, pelos ensinamentos importantes transmitidos. Juntamente ao IFMG *Campus* São João Evangelista pela oportunidade.

Enfim, a todos que colaboraram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

RESUMO

O estudo analisou o ambiente térmico de dois aviários experimentais para frangos de corte no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – *Campus* São João Evangelista, avaliando as condições de temperatura, umidade e ventilação ao longo do dia e sua influência no conforto térmico das aves. O objetivo principal foi investigar as variações térmicas e a eficiência dos sistemas de ventilação na regulação do microclima interno. A pesquisa foi conduzida no outono de 2024, utilizando sensores termo-higrômetros e um termo-higroanemômetro para coletar dados de temperatura, umidade e velocidade do vento em ambos os aviários. O Aviário 1, também usado para frangos de postura, apresentou um ambiente térmico mais ameno, enquanto o Aviário 2, exclusivo para frangos de corte, teve problemas térmicos significativos, sendo desativado em 2024 devido às altas temperaturas internas. A análise revelou que as temperaturas máximas ocorreram entre 10h e 15h, com o Aviário 2 sendo cerca de 2°C mais quente que o Aviário 1, o que foi atribuído à menor eficiência de seu sistema de ventilação. A umidade relativa apresentou um comportamento inverso à temperatura, atingindo valores mínimos durante os horários mais quentes. O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) indicou que, em ambos os aviários, as condições climáticas ultrapassaram os níveis ideais para conforto térmico, especialmente no Aviário 2, que atingiu valores acima de 80, caracterizando um severo desconforto térmico. A ventilação forçada resultou em pequenas reduções de temperatura (cerca de 1°C a 2°C), mas não foi suficiente para garantir um ambiente confortável. A interpolação espacial por krigagem indicou que o sistema de ventilação teve um impacto limitado na homogeneização térmica dos aviários.

Palavras-chave: Ambiência. Conforto térmico. ITU. Avicultura. Ventilação.

ABSTRACT

The study analyzed the thermal environment of two experimental broiler chicken aviaries at Federal Institute of Minas Gerais (IFMG) – São João Evangelista *Campus*, assessing temperature, humidity, and ventilation conditions throughout the day and their influence on the birds' thermal comfort. The main objective was to investigate thermal variations and the efficiency of ventilation systems in regulating the internal microclimate. The research was conducted in the fall of 2024 using thermo-hygrometers and a thermo-hygro-anemometer to collect data on temperature, humidity, and wind speed in both aviaries. Aviary 1, also used for layer chickens, presented a milder thermal environment, whereas Aviary 2, exclusively for broilers, faced significant thermal challenges and was deactivated in 2024 due to high internal temperatures. The analysis revealed that maximum temperatures occurred between 10 AM and 3 PM, with Aviary 2 being approximately 2°C warmer than Aviary 1, which was attributed to the lower efficiency of its ventilation system. Relative humidity showed an inverse pattern to temperature, reaching its lowest values during the hottest hours of the day. The Temperature and Humidity Index (THI) indicated that in both aviaries, climate conditions exceeded ideal thermal comfort levels, especially in Aviary 2, which reached values above 80, characterizing severe thermal discomfort. Forced ventilation resulted in small temperature reductions (around 1°C to 2°C) but was not sufficient to ensure a comfortable environment. Spatial interpolation using kriging indicated that the ventilation system had a limited impact on thermal homogenization within the aviaries.

Keywords: Environment. Thermal comfort. THI. Poultry farming. Ventilation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da área de estudo.....	18
Figura 2 - Características externas e internas do aviário 1	19
Figura 3 - Características externas e internas do aviário 2	20
Figura 4 - Instrumento de medição instalado no interior dos aviários	22
Figura 5 - Instrumento de medição instalado no abrigo	22
Figura 6 - Termo-higro-anemômetro luxímetro digital no momento da medição	24
Figura 7 - Variação de temperatura nos aviários 1 e 2 ao longo do dia	26
Figura 8 - Variação de umidade nos aviários 1 e 2 ao longo do dia.....	27
Figura 9 - Variações do ITU ao longo do dia	28
Figura 10 - Distribuição de temperatura no interior dos aviários.....	30
Figura 11 - Distribuição de umidade no interior dos aviários	31
Figura 12 - Distribuição espacial do ITU no interior dos aviários	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das faixas de ITU, aptidões da região e condições das aves ...	23
Tabela 2 - Interpolação por Kripagem.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 A avicultura brasileira	12
2.2 Resistência das aves a fatores ambientais	13
2.3 Influência do local e dos galpões no ambiente térmico	14
2.4 Krigagem ordinária.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Caracterização da área de estudo	18
3.2 Caracterização do clima da região.....	21
3.4 Análise da variabilidade espacial do clima	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1 Variações de temperatura e umidade ao longo do dia	26
4.2 Variações do ITU ao longo do dia	28
4.3 Distribuição de temperatura, umidade.....	29
4.4 Análise da interpolação por krigagem.....	33
4.5 Análise do índice de temperatura e umidade (ITU)	34
5 CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A avicultura no Brasil ocupa uma das posições de liderança no mercado internacional de carnes, visto que em 2023 o país foi considerado o segundo maior produtor mundial de carne de frango, chegando à produção de 15 milhões de toneladas, ano no qual o país se manteve como maior exportador, superando os Estados Unidos (EMBRAPA, 2023). O sucesso deste mercado está relacionado a diversos fatores, como o manejo adequado das condições sanitárias de criação, a aplicação de métodos de automatização do sistema de produção mais tecnológicos, o melhoramento de linhagens e insumos, o aperfeiçoamento da mão-de-obra quanto ao manejo eficiente, e a introdução do sistema de produção integrado (OLIVEIRA; NÄÄS, 2012). Estes fatores buscam elevar cada vez mais o bem-estar animal, evitando o estresse térmico e proporcionando um ambiente adequado para produção.

As condições climáticas podem interferir negativamente no ambiente para criação de frangos de corte. O Brasil possui diversos climas, sendo que a classificação climática predominante para o estado de Minas Gerais segundo critério de Koppen (1948), é A_w , ou seja, tropical com inverno seco. Constitui-se por período chuvoso no verão, de novembro a abril, e evidente seca no inverno, de maio a outubro. A temperatura média do mês mais frio ultrapassa a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, chegando a 1800 mm. A consorciação entre estes padrões climáticos contribui para o desconforto por causar uma sensação térmica incomoda aos animais. Desta forma, as características do ambiente em que as aves estão instaladas são uma das principais preocupações dos avicultores brasileiros (SILVA; VIEIRA, 2010).

Um ambiente favorável ao conforto térmico dos frangos é aquele que permite que a ave apresente toda sua capacidade genética. Sendo assim, os modelos de galpões, bem como os materiais utilizados na cobertura, são determinantes para uma condição térmica adequada à produção de aves (FURLAN; MACARI, 2008). O calor produzido pelas aves, juntamente com o calor proveniente da radiação solar, são as duas principais fontes de calor no interior das edificações. Dentre as radiações que atuam dentro da instalação, a oriunda do telhado atua com maior vigor, sendo a variável de maior importância (TINÔCO, 2001). Porém, existem alguns métodos que podem ser utilizados quando as condições naturais de ventilação não proporcionam adequada movimentação do ar ou redução da temperatura. A ventilação artificial, por exemplo, é produzida por equipamentos especiais como exaustores e ventiladores e são utilizados em grande parte dos aviários (ABREU *et al.*, 2000).

Além do mais, existem diversos índices que relacionam a faixa de conforto térmico com a temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, radiação e velocidade exercida pelo vento. O ITU é um exemplo que se destaca pela sua facilidade de medição, foi proposto por Thom (1959) e é atualmente considerado um bom indicador das condições de conforto ou desconforto em que o animal está sujeito.

A elaboração de mapas das variáveis ambientais também é um aliado no estudo do microclima interno dos galpões, com o intuito de se realizar melhorias nos sistemas de manejo do ambiente, viabilizando maior desempenho da atividade, além de redução de mortalidade e melhoria do nível de bem-estar animal.

Desta forma, este trabalho objetivou monitorar em tempo real o ambiente térmico de dois aviários desocupados, que são utilizados para produção de frangos de corte, e realizar o mapeamento da distribuição das variáveis temperatura e umidade relativa do ar com e sem o uso do ventilador industrial, bem com o ITU no alojamento ao longo do dia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A avicultura brasileira

No Brasil, a avicultura se iniciou na era colonial, em aproximadamente 1503, ano que o navegante Gonçalo Coelho inseriu as primeiras aves caipiras no município do Rio de Janeiro. As aves eram campeiras, viviam soltas, e eram abatidas após o período de seis meses, pesando aproximadamente dois quilos e meio (QUEVEDO, 2016). Lopes (2011) discorre que os colonizadores portugueses trouxeram as primeiras aves, e que a produção de aves se iniciou no ano de 1532, quando os animais eram criados soltos no fundo dos quintais das casas, e a dieta se estabelecia à base de grãos, insetos e restos de comida.

Segundo Lopes (2011), pequenas propriedades criavam aves como segunda fonte de renda, apenas em 1930 a atividade passou a ser estritamente realizada, sendo considerada lucrativa. Além disso, nesse período iniciaram os acasalamentos entre indivíduos de raças distintas para apuração das espécies.

Logo após os anos 1970, surgiram inovações tecnológicas, e junto a isso, mudanças e ajustes no processo produtivo. Alguns fatores como a redução do tempo de engorda das aves de corte, o grande avanço na seleção de linhagens, a intensificação do uso de rações balanceadas, o uso de equipamentos industriais de última geração e novas técnicas de manejo das aves, contribuíram com ganhos na produtividade e redução dos custos inerentes à atividade (ESPÍNDOLA, 2012).

Atualmente o setor tem se mostrado aquecido, tendo em vista que a produção nacional de carne de frango somou 10,27 milhões de toneladas na parcial de 2024 (de janeiro a setembro), o que equivale a um aumento de produção de 6,1%, quando comparada a produção no mesmo período do ano de 2022. A produção atual é recorde da série histórica da Pesquisa Trimestral de Abates de Animais, realizada pelo IBGE (CPEA, 2024).

De acordo com o CPEA (2024), as exportações brasileiras de carne de frango alcançaram em outubro, recordes em volume, bem como em receita para o mês, como observado na série histórica da Secex, iniciada em 1997. Foram 463,5 mil toneladas embarcadas em outubro, incluindo produtos in natura e processados, volume que significou queda de 4,4% com relação ao mês anterior, mas aumento significativo de 15,4% sobre outubro do ano de 2023, conforme dados da Secex levantados pelo CEPEA. De janeiro a outubro, a quantidade escoada soma 4,38 milhões de toneladas, avanço de 2% em relação ao mesmo período de 2023.

2.2 Resistência das aves a fatores ambientais

O ambiente de produção é um dos principais causadores de perdas na produção animal em escala industrial. Em relação à variável temperatura do ar, esta se apresenta como o principal fator do ambiente causador de perdas. Conforme Nääs (1992) a produtividade ideal pode ser obtida quando a ave estiver vivendo em ambiente com temperatura adequada, sem qualquer desperdício de energia metabolizável, tanto para compensar o frio como para acionar seu sistema de refrigeração a fim de resistir ao calor ambiental. Havendo estresse térmico, tanto o desempenho dos trabalhadores quanto o das aves, pode ser afetado. O estresse térmico nas aves pode acarretar diminuição da ingestão de alimento e das atividades físicas, além de perdas na produção. Devido às características metabólicas da ave, quando consomem o alimento e o transformam em energia, cerca de 20% são dirigidos à sua produção e o restante se destina à sua manutenção (ABREU; ABREU, 2004). Entretanto, quando a ave se encontra em condições de estresse térmico, a energia destinada à produção é desviada para manutenção da homeotermia.

De acordo com Oliveira *et al.* (2006), a capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar. Dessa forma, quanto maior a umidade relativa do ar, maior a dificuldade da ave em remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Todo esse processo que a ave realiza no sentido de manutenção da homeotermia fora da zona de conforto térmico, promove modificações fisiológicas que podem comprometer seu desempenho.

Smith (1964), classifica zona de conforto térmico como:

Aquela em que a resposta animal ao ambiente é positiva e a demanda ambiental é conciliada com a produção basal, acrescida da produção de calor equivalente à atividade normal e do incremento calórico da alimentação. Nessa zona, variável para Qcada tipo de fase e manejo, o animal alcança seu potencial máximo, e a temperatura corporal é mantida com a mínima utilização de mecanismos termorregulatórios (SMITH, 1964, p.249-270).

Furlan e Macari (2008) mencionam que para pintos de um dia de vida, a zona de conforto térmico está próxima de uma temperatura ambiente entre 33 e 35°C, com umidade relativa variando entre 65 a 70% e, após o crescimento do frango de corte e formação do sistema termorregulador, que atinge o máximo desenvolvimento entre 10 e 15 dias de vida pós-natal, o intervalo de conforto térmico é reduzido de 33 para 24°C, com quatro semanas de idade e, para 21 a 22°C com seis semanas de idade.

As aves, sob estresse causado pelo calor, mantem suas asas abertas afastando-as do corpo, descobrindo a região ventral que é altamente vascularizada. Elas arrepiam suas penas propiciando a vasodilatação periférica, conduzindo o fluxo sanguíneo para áreas superficiais e não cobertas com penas, com o propósito de auxiliar a perda de calor para o ambiente (TAN *et al.*, 2010).

Han *et al.* (2010), realizaram experimento em que submeterem frangos de corte de quatro semanas de idade a uma temperatura considerada alta, de 35°C, de forma intermitente, em apenas 3 horas por dia, e observaram sinais notáveis de estresse por calor nas aves. Os autores mencionam que houveram mudanças relacionadas ao comportamento das aves, que permaneceram ofegantes, se dispersando no interior das gaiolas com agrupamentos próximos aos bebedouros com água. Assim como Schiassi *et al.* (2015), quando identificaram comportamentos manifestados por aves que se encontravam sob condições de estresse térmico, incluindo procura por água, deitar, cavar a cama, abrir as asas, abaixar-se próximo de paredes e bebedouros, a prostração, e a ofegação.

Quando os fatores ambientais estão controlados, o bom desempenho das aves torna-se evidente. Para facilitar o controle das variáveis do tempo as aves são alojadas em aviários, galpões utilizados em sistemas de criação de forma intensiva, que são contruídos de formas e materiais diversos (PAULINO *et al.*, 2019).

2.3 Influência do local e dos galpões no ambiente térmico

As oscilações climáticas que ocorrem ao longo do dia e do ano influenciam diretamente no ambiente térmico do interior dos aviários comerciais para criação de frangos de corte, que por sua vez, são responsáveis por atenuar essas oscilações. Assim como ondas de calor ou frio são eventos climáticos que podem intensificar os danos causados às aves, por se tratarem de condições extremas de difícil mitigação. Neste contexto, estudos voltados à estruturação dos galpões, bem como os materiais utilizados na montagem contribuem na busca por condições térmicas mais adequadas para produção das aves.

De acordo com Baêta e Souza (2010), o ambiente dentro de uma instalação normalmente é resultante do ambiente externo local, dos aspectos construtivos e dos materiais que a compõem, da espécie e da quantidade de aves, do manejo, e das alterações causadas tanto pelos equipamentos que fazem parte do sistema produtivo quanto por aqueles designados ao acondicionamento ambiental. Dentro de um mesmo aviário é possível obtermos grandes

variações com relação a temperatura e umidade relativa do ar, a depender da posição, altura em que foi realizada a medição e diferentes afastamentos dos fechamentos laterais.

A construção do aviário com direção voltada para o sentido Leste-Oeste tem sido frequentemente recomendada (TINÔCO, 2001; SANTOS *et al.*, 2005; OWADA *et al.*, 2007; NAZARENO *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2011; NASCIMENTO *et al.*, 2014; COELHO *et al.*, 2015; ROSA *et al.*, 2017), baseando-se no movimento do sol ao longo do dia e do ano devido aos movimentos de rotação e translação da Terra. No entanto, para os aviários construídos no sentido Norte-Sul é recomendado o plantio de renques de vegetação em suas laterais, proporcionando sombreamento e evitando a infiltração dos raios no interior da instalação (ALVES; RODRIGUES, 2004; SOUZA; MILANI, 2015).

Abreu *et al.* (2001), enfatiza que as coberturas funcionam como barreira térmica e devem garantir o bom isolamento térmico, sendo assim, os materiais que a compõem necessitam ter características isolantes para que o ambiente no interior das instalações não seja afetado pelo clima externo, sobretudo no Brasil, país de clima tropical com muitas oscilações de temperatura durante o ano.

Rosa (1984), realizou um estudo com três matérias utilizados em cobertura, sendo eles o barro, cimento amianto e alumínio, com intenção de avaliar a influência desses materiais no índice de conforto térmico do ambiente em período de temperaturas elevadas, na cidade de Viçosa, Minas Gerais. Após conclusão, certificou-se de que a cobertura feita com telha de barro se mostrou mais eficiente na redução da carga térmica de radiação (CTR), seguido do alumínio e, por último, o cimento amianto, resultados que são equivalentes aos obtidos em outros experimentos realizados por pesquisadores no Brasil.

Atualmente, com relação ao pé direito do galpão, esse deve ser estabelecido de acordo com a largura do mesmo, conciliando os dois parâmetros para favorecer a ventilação natural no interior da instalação, tendo em vista que a altura do pé direito influencia diretamente sobre a ventilação natural, sobre a quantidade de radiação solar que poderá atingir o interior do galpão e sobre o fator forma, que interfere na troca de calor por radiação entre o animal e a cobertura e entre o animal e o exterior. Um pé direito excessivamente alto propicia o condicionamento térmico em ocasiões de temperatura elevada, já um pé direito muito baixo favorece o condicionamento térmico em condições de frio. O pé direito está relacionado também com a largura do galpão (VITORASSO *et al.*, 2009).

Na busca por minimizar os danos causados pela insolação excessiva, o primeiro recurso que pode ser utilizado para promover o conforto térmico em dias de altas temperaturas

é o sombreamento natural ou artificial. Conforme Bond *et al.* (1976), o sombreamento é capaz de reduzir aproximadamente 30% da carga térmica de radiação (CTR) incidente sobre a ave.

Segundo Kelly *et al.* (1950), o tipo de sombreamento ideal seria o das árvores, embora seja difícil mensurar tais valores comparativos, mas considera o fato de que a vegetação transforma parte da energia solar, pelo processo de fotossíntese, em energia química latente, reduzindo assim os efeitos da insolação durante os dias mais quentes. Dessa forma, a utilização de espécies arbóreas tem a capacidade de proporcionar um microclima ameno no interior das instalações, com exceção de espécies que bloqueiem a ventilação, como no caso dos quebra ventos.

A cobertura presente no solo também tem potencial de provocar alterações na CTR (carga térmica de radiação) sobre as aves, pois cada material, com sua cor, possui refletividade diferente. A grama pode ser considerada a melhor cobertura para a área externa dos galpões em regiões de clima quente. Bond *et al.* (1954), analisaram que um animal mantido sob cobertura de alumínio se expôs em $44,1 \text{ W.m}^{-2}$ a menos de CTR quando a cobertura esteve sobre um solo coberto por plantas do que quando a mesma cobertura esteve sobre um solo descoberto. Em outro experimento, Bond *et al.* (1969) notaram que instalações cercadas por paredes, cercas ou qualquer outro tipo de construção próximos às coberturas eleva a CTR incidente sobre os animais em razão da radiação solar refletida e transmitida por esses materiais de construção (VITORASSO *et al.*, 2009).

2.4 Krigagem ordinária

A partir da década de 1980, a geoestatística passou a ser amplamente aplicada em diversas áreas do conhecimento, como Agricultura de Precisão, Análise Espacial de Crimes, Cartografia, Climatologia, Ecologia da Paisagem, Engenharia Florestal, Epidemiologia, Geologia Ambiental, Geologia do Petróleo, Geotecnia, Hidrogeologia e Pedologia. Com a crescente popularização do método geoestatístico, praticamente todos os softwares de criação de mapas ou SIG passaram a incorporar módulos específicos para esse tipo de análise (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

De acordo com Yamamoto e Landim (2013), o melhor estimador para uma variável regionalizada deve levar em consideração as posições relativas, ou seja, compreender as características estruturais do fenômeno. Qualquer variável dependente do espaço, além de seu caráter aleatório, apresenta um caráter estrutural que pode ser tratado como variável regionalizada. Portanto, conforme afirmado pelos autores, esse fenômeno deve ser abordado

pelo formalismo desenvolvido pela geoestatística. Yamamoto e Landim (2013) também destacam que o termo "geoestatística" possui uma abrangência maior do que a inicialmente atribuída por seu criador, podendo ser definida como uma subárea da Estatística dedicada ao estudo das variáveis regionalizadas.

A krigagem é o processo geoestatístico utilizado para estimar valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou no tempo, com base nos valores vizinhos, quando estes são considerados interdependentes pela análise. A krigagem ordinária pode ser comparada aos métodos tradicionais de estimativa por médias ponderadas ou médias móveis, mas a diferença fundamental é que somente a krigagem oferece estimativas não tendenciosas e com mínima variância associada ao valor estimado (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

As estimativas geoestatísticas apresentam desempenho superior em comparação com outros métodos de interpolação numérica. De acordo com Yamamoto e Landim (2013), essa vantagem se deve ao uso da função variograma, que considera a distância entre os pontos, além de fatores como o efeito pepita, a amplitude e a presença de anisotropia. A estimativa geoestatística tem como objetivo modelar fenômenos espaciais, determinando a distribuição e a variabilidade espacial de uma variável de interesse.

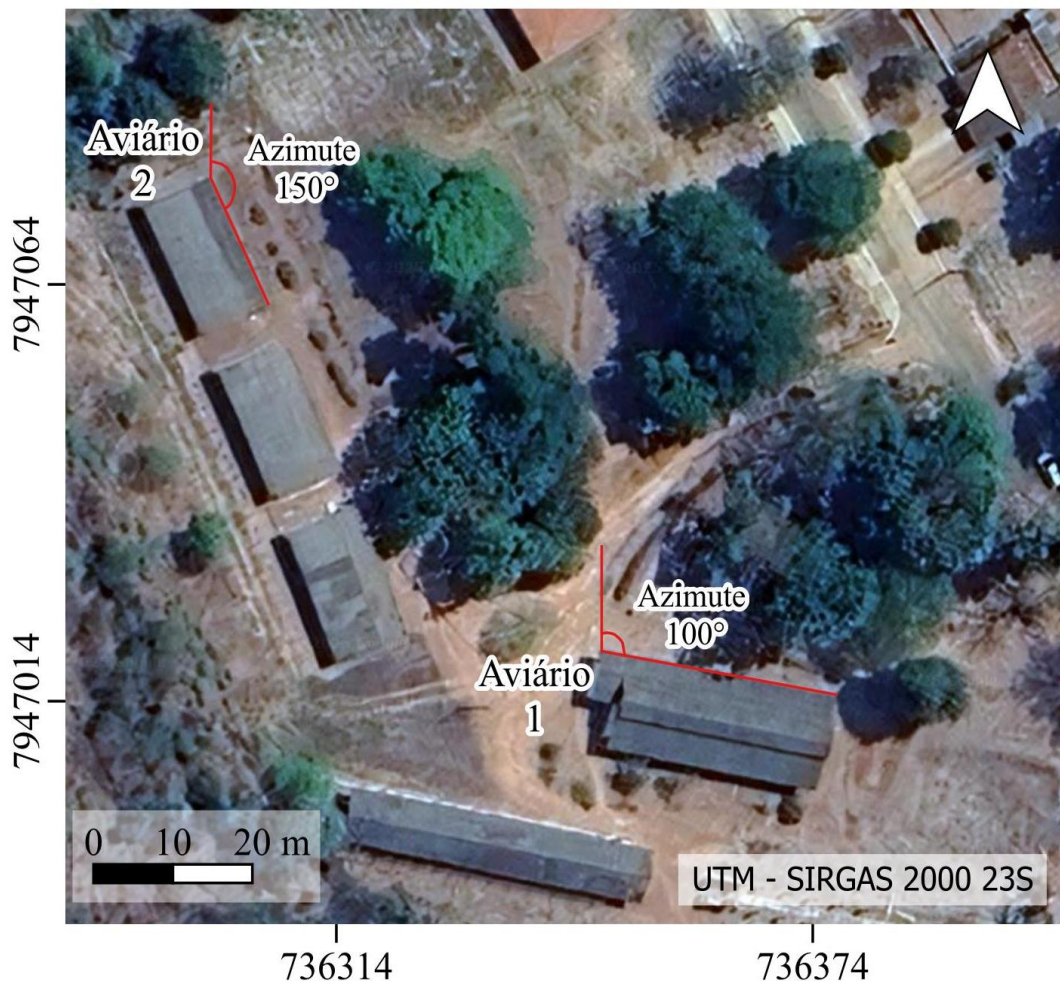
A krigagem baseia-se no variograma, uma ferramenta que quantifica a variação espacial de um fenômeno. Essa função mede a variância entre pontos separados por determinada distância, de modo que amostras mais próximas tendem a ser mais semelhantes, resultando em menor variância. À medida que a distância entre os pontos aumenta, as diferenças entre os valores das amostras também crescem, elevando a variância (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado no outono de 2024, em dois aviários experimentais para frangos de corte pertencentes ao Setor de Avicultura do IFMG – *Campus* São João Evangelista (Figura 1). Ambas as instalações estavam desocupadas e permaneceram assim durante todo o período de amostragem. Os aviários são construídos em alvenaria, com piso de concreto e telhados de amianto.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

De acordo com os funcionários, o Aviário 1 (Figura 2) é usado principalmente para frangos de postura, sendo empregado apenas uma vez ao ano para frangos de corte. As aves de postura chegam com 1 a 2 dias e ficam até aproximadamente 89 semanas de vida. Já as aves de

corte chegam com 1 a 2 dias e saem aos 45 dias de vida. Este aviário possui ambiente térmico mais ameno em comparação aos demais, razão pela qual foi dividido para acomodar tanto aves de postura quanto de corte. Não foram registrados casos de mortalidade de aves por estresse térmico, e o ventilador é utilizado sempre nos dias mais quentes.

Figura 2 – Características externas e internas do aviário 1



A) Vista frontal do Aviário 1; B) Vista posterior do Aviário 1; C) Área interna do Aviário 1; D) Localização do ventilador no Aviário 1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

- **Dimensões:** 23 m de comprimento \times 7,6 m de largura, com pé-direito de 3,4 m.
- **Posicionamento:** Azimute de 100° .
- **Ventilação:** Possui um lanternim de cumeeira aberta, com 60 cm de altura em relação ao teto, **aberto em ambos os lados**. Há ainda sete aberturas laterais com telas metálicas, cada uma medindo 2,9 m \times 1,6 m, em cada lateral. Dispõe de um ventilador central de diâmetro 112 cm e capacidade de 333,3 m³/min (segundo especificação do fabricante).

O aviário 2 (Figura 3) é utilizado exclusivamente para criação de frangos de corte, que chegam com 1 a 2 dias de vida e permanecem até os 45 dias. Entretanto, em 2024, deixou de ser utilizado devido às condições térmicas desfavoráveis e às altas temperaturas internas. Em 2023, ocorreram vários casos de mortalidade por estresse térmico, embora os ventiladores fossem usados nos dias mais quentes.

Figura 3 – Características externas e internas do aviário 2



A) Vista lateral do Aviário 2; B) Área interna do Aviário 2; C) Vista frontal do Aviário 2; D) Telhado do Aviário 2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

- **Dimensões:** 14 m de comprimento \times 8,4 m de largura, totalizando 117,6 m² de área interna, com pé-direito de 2,8 m.
- **Posicionamento:** Azimute 150°.
- **Ventilação:** Apresenta um lanternim de cumeeira aberta, com 60 cm de altura em relação ao teto, **porém aberto em apenas um dos lados**. Conta com dois ventiladores instalados nas extremidades, cada um com diâmetro de 112 cm e vazão de 333,3

m³/min. Em cada lateral, há quatro janelas de 2,9 m × 1,6 m, protegidas por telas metálicas.

3.2 Caracterização do clima da região

Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo Cwa, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A temperatura mínima média anual é de 15 °C e a máxima média anual é de 26 °C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.180 mm (RIBEIRO *et al.*, 2011).

3.3 Análise da variação do clima ao longo do dia

A análise do ambiente térmico foi conduzida de forma pontual e contínua, em um intervalo de 24 horas em cada aviário. Para a coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, utilizou-se um termo-higrômetro datalogger (modelo HT-4010, ICEL Manaus). O aparelho foi inicialmente instalado no centro de um dos aviários, a aproximadamente 2 metros de altura (altura para evitar exposição do instrumento à pontos localizados de radiação solar próximos ao piso), onde permaneceu por 24 horas. Em seguida, foi transferido para o outro aviário, mantendo-se o mesmo período de medição (Figura 4). Esse instrumento registra simultaneamente a umidade relativa e a temperatura, permitindo a configuração de diferentes intervalos de leitura; neste estudo, optou-se pelo registro a cada 15 minutos.

Figura 4 - Instrumento de medição instalado no interior dos aviários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para monitorar as condições externas durante o experimento, um segundo datalogger foi posicionado em um abrigo situado próximo à área de estudo (Figura 5). Ao término de cada período de coleta, o termo-higrômetro foi conectado a um computador, por meio do software HT Communication Tool, fornecido pelo fabricante. Esse programa estabelece a comunicação entre o equipamento e o computador, além de efetuar a transferência dos dados para armazenamento em formato “.xls”, o que facilitou a análise e o processamento das informações em planilhas eletrônicas (Excel).

Figura 5 - Instrumento de medição instalado no abrigo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A partir dos dados coletados, procedeu-se ao cálculo do ITU, conforme a metodologia proposta por Thom (1959). O ITU combina as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar para avaliar o grau de conforto térmico em um determinado ambiente, sendo amplamente utilizado em estudos de conforto animal e humano devido à influência direta da umidade na sensação térmica percebida pelo organismo.

A fórmula clássica de Thom (1959) para o cálculo do ITU é:

$$\text{ITU} = \text{Ta} + (0,36 \times \text{To}) + 41,5$$

Onde:

ITU = índice de temperatura e umidade

Ta = temperatura ambiente (°C)

To = temperatura do ponto de orvalho (°C)

Sendo que:

$$\text{To} = (\text{Rh} \div 100)^{0,125} \times (112 + 0,9\text{Ta}) + 0,1\text{Ta} - 112$$

Onde:

Ta = temperatura ambiente (°C)

Rh = humidade relativa (°C)

O ITU reflete o efeito combinado de calor e umidade no ambiente, ou seja, quanto maior a temperatura e a umidade relativa, maior será o valor do índice, indicando condição de maior desconforto térmico (Tabela 1). Em aplicações práticas, valores mais baixos de ITU tendem a indicar maior bem-estar (ou menor estresse térmico), enquanto valores mais elevados apontam para riscos térmicos maiores, exigindo medidas de mitigação e controle ambiental.

Tabela 1 - Classificação das faixas de ITU, aptidões da região e condições das aves

ITU	Região considerada	AVE em
≤ 72	Apta sem modificações no ambiente	Pleno conforto
73 a 76	Apta com monitoramento e controle parcial do ambiente	Leve desconforto
77 a 80	Restrita com climatização do ambiente	Moderado desconforto
81 a 84	Restrita com severas modificações do ambiente	Severo desconforto
≥ 85	Inapta	Extremo perigo de vida

Fonte: Moraes; Oliveira, 2007.

3.4 Análise da variabilidade espacial do clima

Na etapa seguinte, realizou-se o mapeamento da distribuição de temperatura e umidade relativa do ar no interior dos aviários. Para isso, definiu-se uma malha de pontos de amostragem distribuídos uniformemente ao longo dos eixos distanciados de 1,5 m entre si, cobrindo toda a área dos galpões, e numerando-os em sequência. Em cada um desses pontos, foram efetuadas medições simultâneas nos dois galpões, utilizando-se um termo-higro-anemômetro luxímetro digital (Lutron, modelo LM8000), que registra temperatura ambiente, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A fim de manter uma altura padronizada do sensor em relação ao piso, utilizou-se uma caixa de papelão de 20 cm de altura (Figura 6).

Figura 6 - Termo-higro-anemômetro luxímetro digital no momento da medição



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Foram realizadas duas campanhas de medição. Na primeira, os ventiladores permaneceram desligados, caracterizando as condições iniciais do ambiente. Em seguida, os ventiladores foram ligados por 40 minutos, após o que se repetiram as medições. Esse procedimento permitiu avaliar as possíveis mudanças no ambiente térmico decorrentes da ventilação gerada.

Para representar espacialmente a distribuição de temperatura e umidade relativa do ar nos galpões, adotou-se o método de krigagem ordinária, que pressupõe uma média populacional desconhecida, porém constante, estimada a partir dos dados locais. Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória, contemplando a verificação de estatísticas descritivas, a

identificação de valores discrepantes (outliers) e a avaliação da normalidade dos valores de temperatura e umidade, de modo a garantir consistência na etapa de modelagem espacial. Em seguida, construiu-se o semivariograma experimental, que possibilitou compreender a dependência espacial entre as amostras.

Com base nesses resultados, ajustou-se o modelo esférico (spherical), frequentemente recomendado para variáveis ambientais, e aplicou-se a krigagem ordinária para interpolar os valores em toda a área de interesse. Para avaliar o desempenho do modelo, utilizou-se a validação cruzada leave-one-out, na qual se remove cada ponto do conjunto de dados de forma iterativa e se estima a partir dos demais. A comparação entre os valores preditos e observados forneceu indicadores estatísticos de erro, como o Erro Médio (ME) e o Erro Médio Quadrático (RMSE).

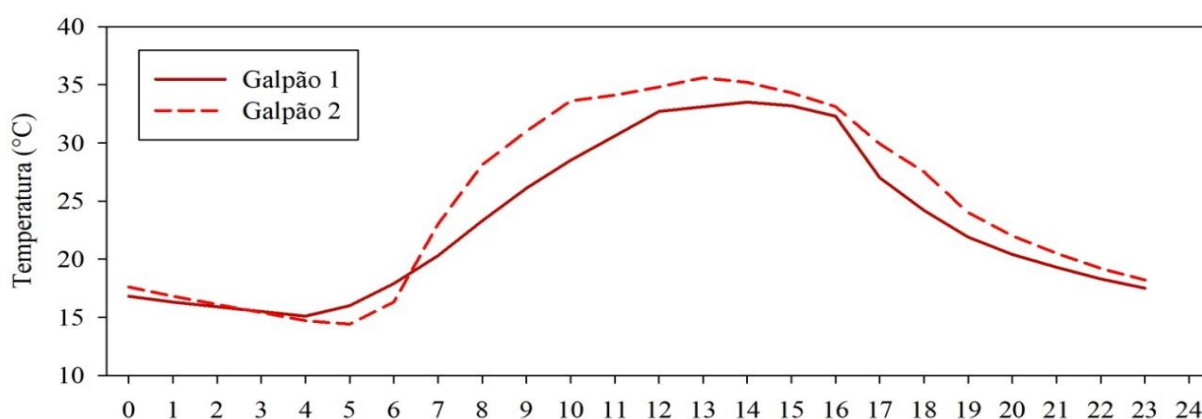
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Variações de temperatura e umidade ao longo do dia

Na análise do ambiente térmico dos aviários, foi utilizado um termo-higrômetro posicionado externamente para monitorar as condições climáticas ao redor das instalações. No dia 2 de outubro, a temperatura mínima registrada foi de 14°C, enquanto a máxima atingiu 36°C. Já no dia 3 de outubro, os registros indicaram um aumento nas temperaturas mínima e máxima. A mínima subiu para 16°C, e a máxima atingiu 37°C, evidenciando uma elevação geral das condições térmicas.

A análise dos resultados revela que ambas as instalações exibem padrões similares de variação de temperatura ao longo de um ciclo de 24 horas. Observam-se temperaturas mínimas durante a madrugada, seguidas por um aumento gradual até atingir valores máximos entre 10h e 15h (Figura 7). Tais achados corroboram os resultados de Teles Junior (2019), que, em sua análise da ambiência em galpões avícolas, identificou a ocorrência de variações térmicas diurnas, particularmente em aviários com sistemas de ventilação menos eficientes, o que resulta em menores índices de umidade relativa nos períodos de maior radiação solar.

Figura 7 - Variação de temperatura nos aviários 1 e 2 ao longo do dia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

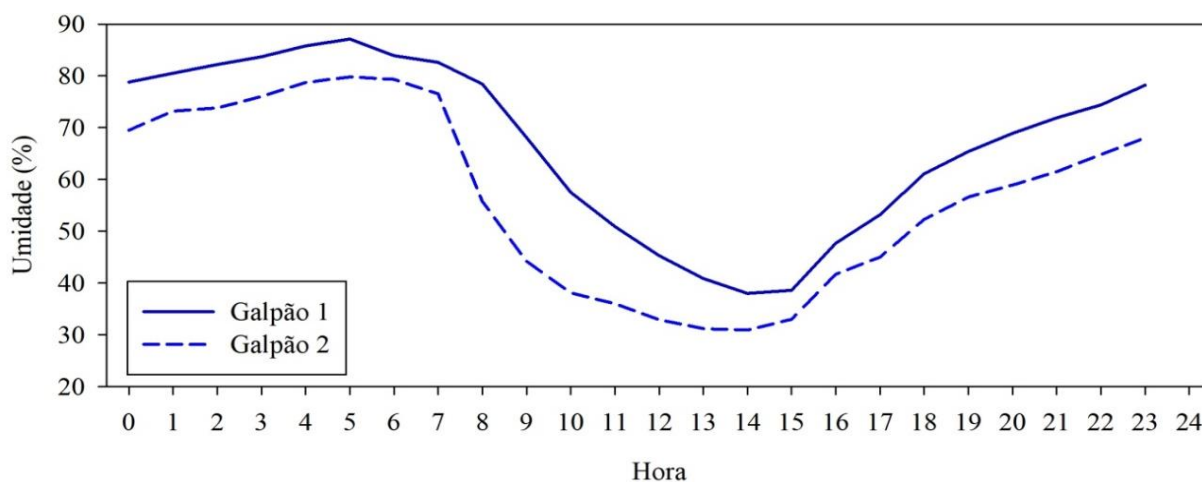
O Aviário 2, que consistentemente registra temperaturas ligeiramente superiores às do Aviário 1 (aproximadamente 2°C mais quente no período de maior radiação), pode ter seu comportamento explicado pela menor eficiência do seu sistema de ventilação. Nascimento *et al.* (2014) demonstrou o impacto positivo de sistemas de ventilação na dissipação do calor interno, especialmente em aviários com aberturas limitadas ou orientações desfavoráveis. A configuração do lanternim do Aviário 2, com apenas uma abertura e posição no azimute 150,

contribuiu para essa ineficiência, corroborando as observações de Mattos (2007) sobre a influência da orientação das aberturas no microclima interno e no conforto térmico das aves.

O incremento da diferença de temperatura entre os aviários nas horas de maior radiação solar coincide com o aumento do calor no ambiente interno. Paulino *et al.* (2019) reforçam a importância do uso de ventilação mínima e do posicionamento adequado das aberturas para mitigar picos térmicos e assegurar a estabilidade ambiental durante os períodos mais quentes do dia.

A umidade relativa, por sua vez, apresenta um comportamento inverso ao da temperatura, com valores máximos nas horas mais frias (0h às 4h) e mínimos durante os períodos de maior aquecimento (Figura 8). Essa variação inversa é consistente com os resultados de Santos *et al.* (2009), que, ao comparar diferentes sistemas de ventilação, concluíram que o controle da umidade é diretamente influenciado pelo aumento da temperatura e pela eficiência da ventilação, sobretudo em instalações com ventilação lateral restrita.

Figura 8 - Variação de umidade nos aviários 1 e 2 ao longo do dia



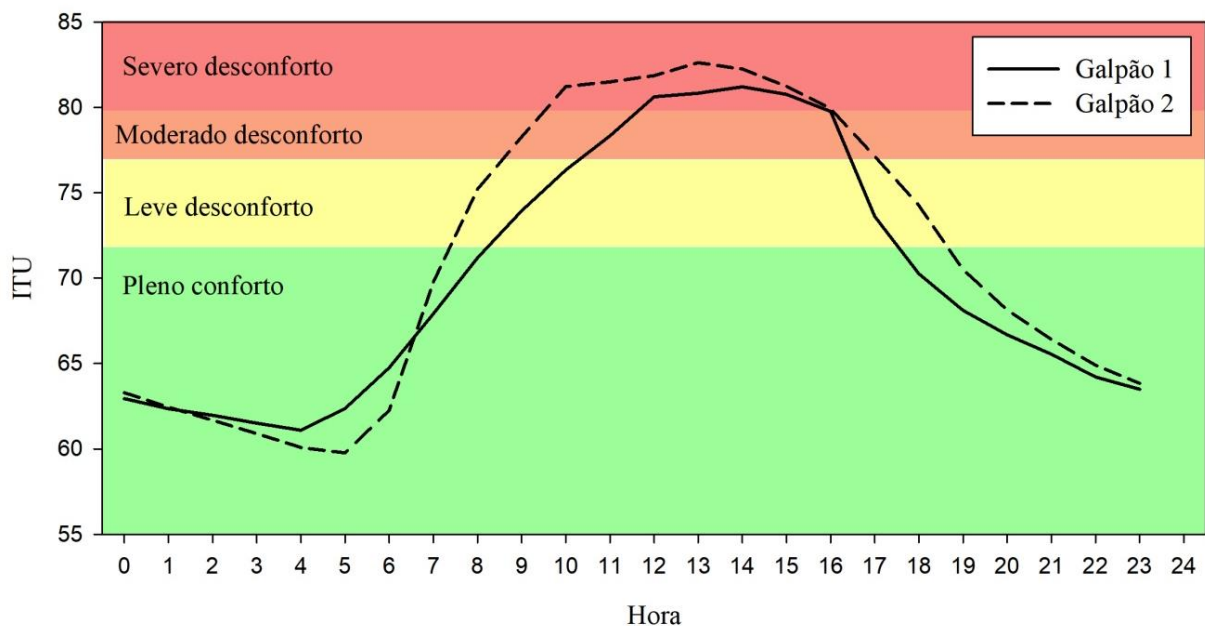
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A redução mais acentuada da umidade no Aviário 2, observada entre 10h e 15h, pode ser atribuída ao aumento da temperatura, à ventilação menos eficiente e à intensificação da perda de umidade. Bezerra (2021), em seu estudo sobre um sistema automatizado de monitoramento térmico, destacou a relação entre ventilação inadequada, aumento de temperatura e desidratação do ambiente interno em aviários.

4.2 Variações do ITU ao longo do dia

O ITU, em ambos os aviários, inicia o período noturno e estende-se até aproximadamente às 6 horas na faixa de "pleno conforto" (valores abaixo de 72). Esse comportamento reflete temperaturas mais amenas e maior umidade relativa, fatores que favorecem a dissipação de calor pelas aves (Figura 9). Segundo Mattos (2007), o ITU é um índice amplamente utilizado para avaliar o conforto térmico em aviários, sendo influenciado diretamente pela ventilação, pelos materiais construtivos e pela umidade relativa. Esses fatores corroboram os valores observados durante o período noturno, quando a ventilação natural e a menor incidência de radiação solar favorecem o bem-estar animal.

Figura 9 - Variações do ITU ao longo do dia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A partir de aproximadamente 10 horas, no Aviário 1, observa-se um aumento significativo nos valores do ITU, ultrapassando o limiar de "leve desconforto" (entre 73 e 76) e atingindo a faixa de "moderado desconforto" (entre 77 e 80). Sendo que o Aviário 2 atinge a liminar de "moderado desconforto" por volta das 8 horas. Nascimento (2011), utilizando termografia em aviários, demonstrou que o aumento do ITU nas primeiras horas da manhã está associado à crescente radiação solar e à insuficiência dos sistemas de ventilação em dissipar o calor acumulado, principalmente em estruturas menos eficientes, como o Aviário 2.

Entre 9h e 12h, registram-se os picos diários de ITU. O Aviário 2 frequentemente supera o valor de 80, situando-se na zona de "severo desconforto", enquanto o Aviário 1 alcança

valores ligeiramente menores, porém ainda permanecendo na faixa de "moderado a severo desconforto" por algumas horas. Fernandes (2017) observou que instalações avícolas com ventilação inadequada tendem a apresentar ITU mais elevado durante o pico de radiação solar, comprometendo o desempenho das aves e aumentando o estresse térmico devido à baixa eficiência na troca de calor.

As diferenças observadas entre os aviários sugerem uma menor eficiência do Aviário 2 na dissipação do calor acumulado, o que pode ser atribuído à influência dos materiais construtivos e do sistema de ventilação. Silva (2013) destaca que a tipologia construtiva de galpões avícolas impacta diretamente no ITU, sendo que materiais com baixa capacidade de isolamento térmico contribuem para maiores valores de desconforto térmico durante o dia.

No período entre 15h e 17h, ambos os galpões apresentam uma redução gradual no ITU, embora o Aviário 2 permaneça em níveis de desconforto por um período mais prolongado em comparação ao Aviário 1. Silva (2003) verificou que a ventilação natural e o posicionamento das aberturas são fatores determinantes na redução do ITU durante o final da tarde. Contudo, galpões com ventilação deficiente mantêm índices elevados por períodos mais extensos.

A partir do final da tarde e início da noite (entre 18h e 20h), os valores do ITU retornam à faixa de "leve desconforto" e, subsequentemente, aproximam-se da condição de "pleno conforto" ao longo da noite. Coelho *et al.* (2015) apontam que, mesmo durante o período noturno, galpões com ventilação inadequada podem apresentar ITU elevado devido ao acúmulo de calor ao longo do dia, prolongando o desconforto térmico, como observado no Aviário 2.

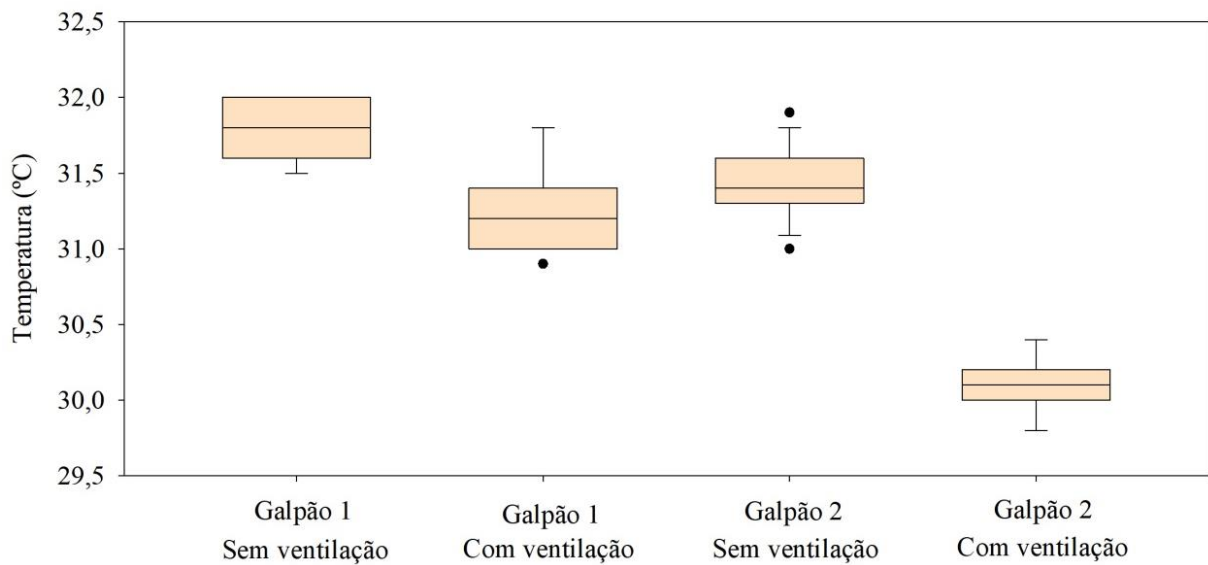
Esse comportamento reforça a influência da radiação solar ao longo do dia, bem como a eficiência limitada dos mecanismos de ventilação ou trocas de calor nos períodos mais quentes, especialmente no Aviário 2. Santos *et al.* (2009) evidenciaram que o uso de sistemas de ventilação forçada e a adequação das aberturas contribuem significativamente para a redução do ITU, especialmente em regiões de alta radiação solar, reforçando a importância de melhorias estruturais em aviários com deficiências de ventilação.

4.3 Distribuição de temperatura, umidade

A distribuição de temperatura, umidade e velocidade do vento nos aviários apresentou variações relativamente baixas. A temperatura registrou uma diferença inferior a 2°C, com uma redução adicional de aproximadamente 1°C após o acionamento dos ventiladores (Figura 10). Observou-se que o Aviário 2 obteve uma redução ligeiramente maior na

temperatura, porém, ainda insuficiente para proporcionar um resfriamento adequado. Este comportamento é semelhante ao relatado por Cunha *et al.* (2023), que observaram variações térmicas limitadas em aviários ventilados à pressão negativa, destacando que a eficiência da ventilação influencia diretamente a distribuição uniforme da temperatura e umidade ao longo do galpão.

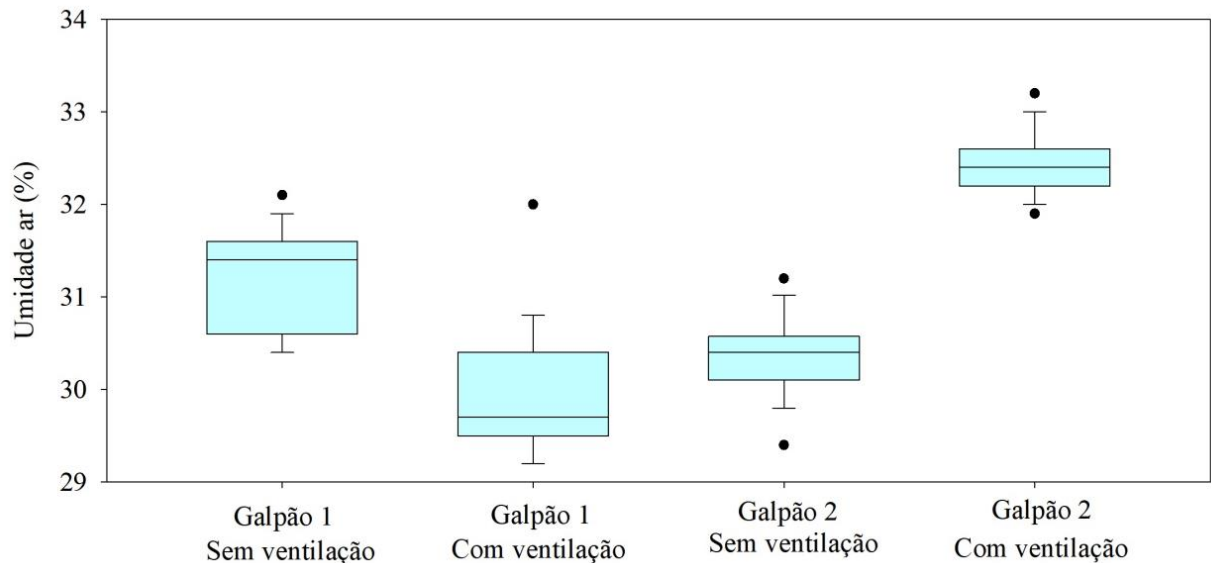
Figura 10 - Distribuição de temperatura no interior dos aviários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Em relação à umidade relativa, as variações foram inferiores a 2%, com homogeneidade ao longo do galpão, sugerindo a ausência de microclimas evidentes (Figura 11). Silva (2013) ressaltou que o controle adequado da ventilação e o uso de resfriamento evaporativo contribuem para a manutenção da umidade homogênea, mesmo em condições de alta temperatura, prevenindo o surgimento de microclimas que poderiam impactar o desempenho das aves.

Figura 11 - Distribuição de umidade no interior dos aviários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Mattos (2007) destacou que a utilização de exaustores bem distribuídos em aviários de postura assegura uma uniformidade térmica, com variações de temperatura inferiores a 2°C, similar ao observado neste estudo. Contudo, alertou que pequenas diferenças na velocidade do vento podem comprometer o resfriamento efetivo, como foi o caso do Aviário 2. Da mesma forma, Silva (2003) observou que o uso de resfriamento evaporativo em galpões avícolas, ajustado às condições climáticas regionais, favorece a homogeneidade térmica, reduzindo variações de temperatura e umidade em menos de 2%.

Gonçalves (2020), utilizando análise térmica computacional, demonstrou que a baixa eficiência de ventilação pode levar a pequenas variações térmicas, mas suficientes para impactar negativamente o conforto animal, principalmente em regiões semiáridas, reforçando a necessidade de melhorias no sistema de ventilação do Aviário 2.

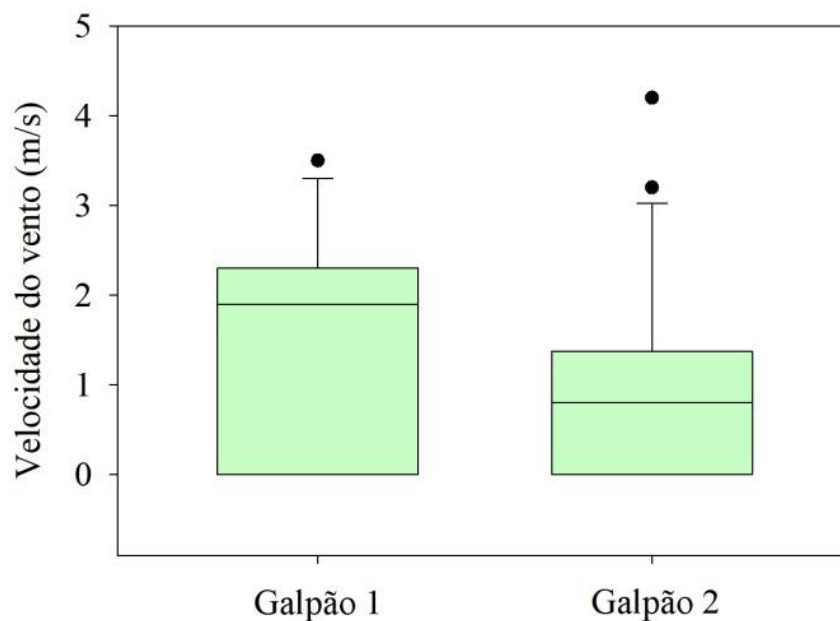
Vilela (2020) observou que sistemas de ventilação tipo túnel proporcionam maior homogeneidade de temperatura e umidade, com variações inferiores a 1,5°C, alinhando-se aos resultados deste estudo, embora o Aviário 2 tenha apresentado limitações nesse aspecto.

Damasceno *et al.* (2010) destacaram que a arquitetura e o posicionamento de ventiladores são determinantes para evitar microclimas, pois asseguram uma distribuição adequada da velocidade do vento e do resfriamento evaporativo. Essa observação reforça a constatação de que o Aviário 2, embora tenha alcançado uma redução ligeiramente maior na

temperatura, ainda apresenta limitações para manter o ambiente termicamente confortável por períodos prolongados.

A análise dos dados sugere que a redução na eficiência da ventilação pode estar diretamente relacionada ao desgaste ou à manutenção inadequada dos ventiladores. Embora a especificação do fabricante indique uma vazão média de 333 m³ por minuto, os valores registrados durante a avaliação revelaram uma velocidade do vento inferior a 2 m/s, o que, considerando o raio do ventilador, resultou em uma vazão estimada de apenas 95 m³ por minuto—significativamente abaixo do esperado.

Figura 12- Distribuição da velocidade do vento no interior dos aviários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Essa discrepância pode ser atribuída a diversos fatores, sendo o desgaste mecânico e a falta de manutenção preventiva os mais prováveis. Com o tempo, o funcionamento contínuo dos ventiladores pode levar ao acúmulo de poeira e sujeira nas pás, redução na lubrificação dos rolamentos e perda da eficiência do motor, comprometendo a capacidade do equipamento de gerar o fluxo de ar adequado.

4.4 Análise da interpolação por krigagem

Os resultados da interpolação por krigagem revelaram que o Erro Médio (ME) foi próximo de zero em todas as condições, indicando ausência de viés significativo nas predições do modelo, tanto no Aviário 1 quanto no Aviário 2 (Tabela 2). O valor mais baixo de ME foi observado no Aviário 2 com ventilação (0,0006), evidenciando a alta consistência entre as predições e os valores observados. Este resultado corrobora o estudo de Oliveira Júnior (2019), que, ao analisar métodos de interpolação espacial em sistemas de ventilação de aviários, constatou a eficiência da krigagem na modelagem térmica, com baixos erros médios mesmo em condições ambientais dinâmicas.

Tabela 2 - Interpolação por Krigagem

	Condição	ME	RMSE
Aviário 1	Sem ventilação	0,011	0,226
	Com ventilação	0,039	0,306
Aviário 2	Sem ventilação	0,003	0,219
	Com ventilação	0,0006	0,109

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

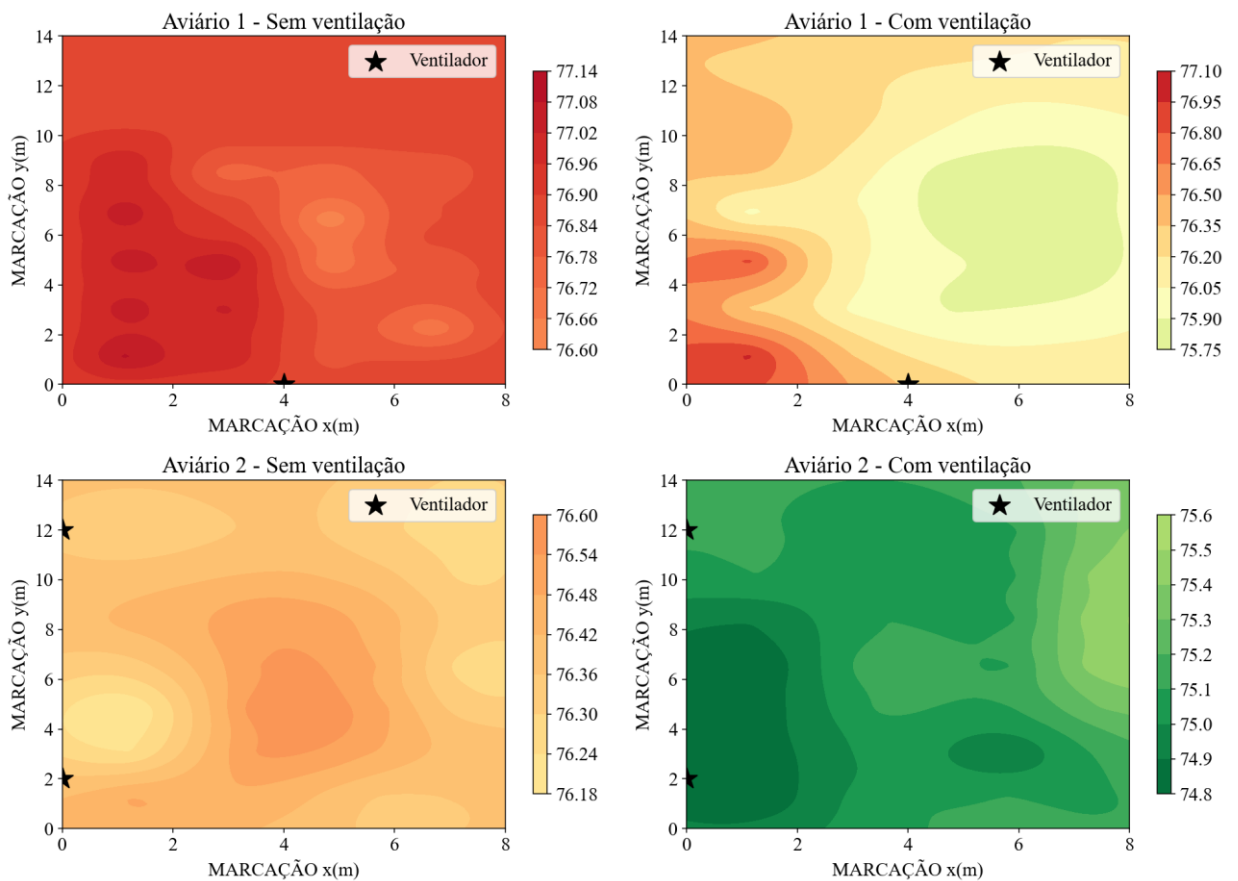
Entretanto, os valores do Erro Médio Quadrático (RMSE) variaram entre as condições. No Aviário 1, o RMSE aumentou de 0,226 (sem ventilação) para 0,306 (com ventilação), sugerindo maior dificuldade do modelo em prever as condições ambientais com os ventiladores em operação. Este comportamento pode ser atribuído ao fluxo de ar gerado, que introduziu maior complexidade ao ambiente, dificultando a interpolação precisa dos valores pontuais. Capuchinho (2021) destaca que o RMSE é sensível a variações bruscas na distribuição espacial da temperatura, o que pode explicar o aumento do erro com a ventilação ativa.

Em contrapartida, o Aviário 2 apresentou um comportamento inverso, com o RMSE diminuindo de 0,219 (sem ventilação) para 0,109 (com ventilação). Este resultado indica que, diferentemente do Aviário 1, a ventilação no Aviário 2 contribuiu para uma distribuição mais homogênea dos parâmetros ambientais, facilitando a predição do modelo. Tal constatação sugere que o sistema de ventilação do Aviário 2 pode ter sido mais eficiente em promover uma circulação de ar mais uniforme, reduzindo as variações ambientais entre os pontos amostrados. Estudos como o de Oliveira Júnior (2019) reforçam que sistemas de ventilação bem distribuídos minimizam gradientes térmicos internos, resultando em uma modelagem mais precisa e com menor erro residual.

4.5 Análise do índice de temperatura e umidade (ITU)

Os mapas de krigagem revelam que, independentemente da presença ou ausência de ventilação, o ITU em ambos os aviários permanece acima de 72, indicando uma condição de leve desconforto térmico para as aves, de acordo com os critérios estabelecidos por Moraes e Oliveira (2007) (Figura 13). Este achado está alinhado com o estudo de Sabino (2015), que, ao analisar a distribuição espacial da temperatura em instalações zootécnicas, constatou que o ITU frequentemente ultrapassa o nível de conforto, mesmo com o uso de ventilação, particularmente em regiões tropicais.

Figura 13 - Distribuição espacial do ITU no interior dos aviários



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Foram identificadas áreas com valores de ITU superiores a 77, caracterizando um moderado desconforto térmico. Resultados semelhantes foram obtidos por Salgado (2006) em aviários do Sudeste brasileiro, mesmo com a utilização de sistemas de ventilação positiva em modo túnel. O autor enfatiza que, embora a ventilação contribua para a redução da temperatura,

a ausência de sistemas de resfriamento evaporativo impede que o ITU alcance níveis ótimos para o bem-estar animal.

A ativação dos ventiladores resultou em uma discreta diminuição do ITU, porém insuficiente para atingir níveis de conforto térmico. Vilela (2020), em sua análise de sistemas de ventilação tipo túnel em aviários, observou que a ventilação, embora reduza a temperatura, apresenta eficiência limitada sem a incorporação de resfriamento evaporativo. Essa observação corrobora a redução inferior a 2°C na temperatura e menos de 3% na umidade relativa verificada no presente estudo.

Comparativamente, o Aviário 2, equipado com dois ventiladores, apresentou uma redução de ITU mais expressiva do que o Aviário 1, contudo, ainda insuficiente para garantir o conforto térmico adequado. Curi (2014) ressalta que aviários com um maior número de ventiladores tendem a apresentar uma melhor distribuição térmica. No entanto, sem o suporte de painéis evaporativos, o desconforto térmico persiste durante os períodos de maior radiação solar.

A ineficiência observada sugere a necessidade de ajustes no sistema de ventilação, incluindo a implementação de resfriamento evaporativo. Castro (2012) demonstrou que painéis evaporativos são cruciais para reduzir o ITU em aviários, especialmente durante o verão, garantindo níveis adequados de temperatura e umidade para o bem-estar animal.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostraram que, apesar da leve redução de temperatura e umidade com o uso de ventiladores, o ITU permaneceu acima dos níveis ideais de conforto térmico para aves em ambos os aviários. A análise espacial revelou que o sistema de ventilação atual não foi eficaz para proporcionar homogeneidade no microclima interno, evidenciando a necessidade de melhorias no sistema de resfriamento para garantir o bem-estar animal e a eficiência produtiva. Assim como a cobertura do telhado, cujo material tem como característica a baixa redução da carga térmica de radiação (CTR), devendo optar-se por matérias com maior capacidade de redução da carga térmica de radiação.

Os aviários estão inseridos em local de pouco sombreamento natural e cobertura vegetal, onde se faz necessária a introdução de espécies arbóreas perenifólias juntamente com espécies forrageiras, buscando assim minimizar os danos causados pela insolação excessiva.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. **Conforto térmico para aves**. Comunicado técnico. Concórdia, SC. Dezembro, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/961847/conforto-termico-para-aves>. Acesso em: 24 jan. 2025
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. **Ventilação na avicultura de corte**. Embrapa Suínos e Aves, Documentos, 63, Concórdia, 50p, 2000.
- ALVES, Sullivan P.; RODRIGUES, Edmundo HV. Sombreamento arbóreo e orientação de instalações avícolas. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 241-245, 2004.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais, conforto animal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010. 269p.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F.; ITTNER, N. R. Radiation studies of painted shade materials. **Agricultural Engineering**, v. 35, n. 6, p. 389-392, 1954.
- BEZERRA, Rômulo Cavalcante. **Sistema semiautomatizado para redução do desperdício de ração e otimização do conforto térmico no processo de criação avícola de pequenos produtores do interior da região Amazônica**. Orientador: Manoel Henrique Reis Nascimento. 2021. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/13699>. Acesso em: 14 fev. 2025.
- BOND, T. E.; MORRISON, S. R.; GIVENS, R. L. Influence of surroundings on radiant heat load of animals. **Transactions of the ASAE**, v. 12, n. 2, p. 246-0248, 1969.
- BOND, T. E.; NEUBAUER, L. W.; GIVENS, R. L. The influence of slope and orientation on effectiveness of livestock shades. **Transaction of the ASAE**, v. 19, n. 11, p. 134 - 136, 1976.
- CAPUCHINHO, F. F. **Deep Learning para estimativa na escala mensal das temperaturas do ar para a região Centro-Oeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2021. Disponível em: <http://www.bdtd.ueg.br/handle/tede/967>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- CASTRO, A. C. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-07022012-142226/>. Acesso em: 24. jan. 2025
- CEPEA. **FRANGO/CEPEA: exportações de outubro são as maiores para o período** - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA-Esalq/USP. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diarias-de-mercado/frango-cepea-exportacoes-de-outubro-sao-as-maiores-para-o-periodo.aspx>. Acesso em: 28 jan. 2025.

COELHO, Diogo J. de R. *et al.* Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 996-1004, 2015.

CURI, T. M. R. DE C. **Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464436>. Acesso em: 28. jan. 2025.

DAMASCENO, Flávio Alves *et al.* Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais. **Pubvet**, v. 4, p. Art. 986-991, 2010.

DE ARAÚJO CUNHA, Gisele Caldas *et al.* Uniformidade de distribuição de variáveis ambientais em aviário ventilado à pressão negativa. **Aviários e sua construção**, 2023. Disponível em:
<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/32854/AVI%C3%81RIOS+E+SUA+CONSTRU%C3%87%C3%83O+-+E-BOOK+CTRN+2023.pdf?sequence=1#page=7>. Acesso em: 28.jan. 2025.

DIRCEU JOAO DUARTE TALAMINI, C.; FRANCO MULLER MARTINS, C. A **avicultura brasileira e o mercado mundial de carnes**. Disponível em:
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1160307>. Acesso em: 25 jan. 2025.

DOS SANTOS, Pedro Antonio *et al.* Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 172-180, 2009.

Esmay, M. L. **Principles of animal environment**. Co. Inc. 2nd. Westport: AVI Pub, 1982. 325p.

ESPÍNDOLA, C. J. **Trajetórias do progresso técnico na cadeia produtiva de carne de frango do Brasil**. Revista Geosul, Florianópolis, v. 27, n. 53, p. 89-113, jan./jul. 2012.

FERNANDES, THIAGO. **Conforto térmico em aviários de frango de corte colonial em diferentes tipologias construtivas**. Portal de Dados Abertos da CAPES.2017. Disponível em:
https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5001363. Acesso e: 4 jan. 2025

FURLAN, R.L.; MACARI, M. Termorregulação. In: Macari, M.; Furlan R.L.; Gonzales, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2ed. Jaboticabal: Funesp, p.209-230, 2008.

HAN, A.Y.; ZHANG, M.H.; ZUO, X.L.; ZHENG, S.S.; ZHAO, C.F.; FENG, J.H.; CHENG, C. Effect of acute heat stress on calcium concentration, proliferation, cell cycle, and interleukin-2 production in splenic lymphocytes from broiler chickens. **Poultry Science**, v. 89, n. 10, p. 2063-2070, 2010.

GEOGRAFOS. Coordenadas Geográficas de São João Evangelista, Minas Gerais – MG, 2025. Disponível em: <https://www.geografos.com.br/cidades-minas-gerais/sao-joao-evangelista.php>. Acesso em: 10 jan. 2025.

GONÇALVES, Indira Cristiane Moreira *et al.* **Análise térmica computacional de aviário no semiárido brasileiro**. 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/17720>. Acesso em: 20 dez. 2024

IBGE. **INDICADORES IBGE**: estatística da produção pecuária. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=72380>. Acesso em: 12 jan. 2025.

KELLY, C. F.; BOND, T. E.; ITTNER, N. R. Cold spots in the sky help cool livestock shades. **Agricultural Engineering**, v. 31, n. 12, p. 606-606, 1950.

LOPES, J. C. O. Avicultura. **Rede e-Tec Brasil** – Técnico em Agropecuária. Floriano, PI; EDUFPI; UFRN. 2011. Disponível em: <https://pronatec.ifpr.edu.br/wpcontent/uploads/2013/06/Avicultura.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2025.

MATTOS, Juliana Medeiros de. **Avaliação das instalações em aviários de postura conforme aspectos de conforto térmico na região de Bastos**. 2007. ix, 57 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90687>. Acesso em: 22 dez. 2024

MORAES, S. R. P.; OLIVEIRA, A. L.R.. Classificação das faixas do índice de temperatura e umidade (ITU), aptidão da região e condições de conforto para frangos de corte e poedeiras, no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15. **Anais**. Aracaju, 2007. Disponível em: <https://www.sbagro.org/files/biblioteca/2656.pdf>. Acesso em: 15. dez. 2024.

NASCIMENTO, Guilherme R. do *et al.* Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 658-663, 2014.

NAZARENO, Aérica C. *et al.* Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 802-808, 2009.

OLIVEIRA, D.R.M.S. & NÄÄS, I.A. Issues of sustainability on the Brazilian broiler meat production chain. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS, 2012, Rhodes. **Anais...Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services: proceedings**, Greece: Internacional Federation for Information Processing, 2012. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/286442982.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J. **Sistema móvel para análise de conforto térmico de animais, utilizando método interpolador IDW**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2019. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/11449/191485/5/oliveirajunior_aj_dr_botfca.pdf. Acesso em: 22 dez.2024.

OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ABREU, M.L.T. *et al.* Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.797-803, 2006.

OWADA, A.N.; NÄÄS, I.A, MOURA, D.J.; BARACHO, M.S. **Estimativa de bemestar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p.611-618, 2007.

PAULINO, Maria Tereza Frageri *et al.* Criação de frangos de corte e acondicionamento térmico em suas instalações: Revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 170, 2019.

QUEVEDO, A. A história da avicultura brasileira. **AVIC. INDUSTRIAL**. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/a-historia-da-aviculturabrasileira/20030520-151203-0539>. Acesso em: 05 dez. 2024.

RIBEIRO, E.F.; NASCIMENTO, P.; SILVA, A.G.; SANTOS, G.A.; GOMES JÚNIOR, D. Efeito de Atividades Antrópicas Sobre a Mata do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Minas Gerais – *Campus São João Evangelista (IFMG-SJE)*. **Revista Agroambiental**. Agosto, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n22011335>. Acesso em: 10 jan. 2025.

RODRIGUES, V. C.; SILVA, I.J.; VIEIRA, F.M.; NASCIMENTO, S.T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, Heidelberg, v. 55, n. 3, p. 455-459, 2011.

ROSA, CO da *et al.* Análise econômica da implantação de um sistema de iluminação LED em aviário dark house: um estudo de caso. **Custos e@ gronegocio on line**, v. 13, p. 2-19, 2017.

ROSA, Y. B. C. J. Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico, em condições de verão para Viçosa, MG. **Viçosa: UFV**, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p89-92>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SABINO, L. A. **Estudo da distribuição da temperatura em instalações para a criação de fêmeas suínas em fase de gestação com o uso da fluidodinâmica computacional (CFD)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464533>. Acesso em: 10. fev. 2025

SALGADO, D. D. A. **Avaliação de risco à produção avícola no Estado de São Paulo frente ao aquecimento global**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=463786>. Acesso em: 10 fev.2025

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

2005.

SCHIASSI, Leonardo *et al.* Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 390-396, 2015.

SILVA, I. J. O e VIEIRA, F. M. C. **Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira**. Archivos de Zootecnia, v. 59 (R), p. 113-131, 2010 Tradução . . Disponível em: <https://doi.org/10.21071/az.v59i232.4910>. Acesso em: 26 set. 2024.

SILVA, Mariano Pereira. **Avaliação de um modelo simplificado para estimativa do balanço de energia em galpões para produção de frangos de corte e zoneamento do potencial de uso do resfriamento evaporativo para a região sudeste**. 2003. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9576>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SILVA, Tatiana Patrícia Nascimento da *et al.* **Tipologia e conforto térmico em galpões avícolas no Estado de Pernambuco e sua influência no desempenho de frangos de corte**. 2013. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5702>. Acesso em: 15 jan. 2025.

SMITH, C.V.A. Quantitative relationship between environment, comfort and animal productivity. **Agricultural Meteorology**. V. 1, p.249-270, 1964.

SOUZA, Fernando A.; MILANI, Adhemar P. Natural shading and productivity index of broiler chickens. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 601-605, 2015.

TAN, G.Y.L.; YANG, L.; FU, Y.Q.; FENG, J.H.; ZHANG, M.H. Effects of different acute high ambient temperatures on function of hepatic mitochondrial respiration, antioxidative enzymes, and oxidative injury in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 89, p. 115- 122, 2010.

TELES JUNIOR, Carlos Gutemberg de Souza. **Consumo energético e ambiência de galpões avícolas fechados e potencial de implementação de sistema híbrido de acondicionamento térmico**. 2019. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28365>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Tinôco, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v.3, n.1, p.1-25, 2001.

VILELA, M. O. **Modelagem CFD para avaliação da ambiência em aviários para frangos de corte com ventilação tipo túnel**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/28342>. Acesso em: 5 nov. 2024.

VITORASSO, Guilherme; PEREIRA, Danilo F. Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 788-794, 2009.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: Conceitos e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 214p.