Revista Sinapse Múltipla
PUC Minas Lourdes

ESTRESSE TÉRMICO CALÓRICO EM FRANGOS DE CORTE

HEAT STRESS IN BROILER CHICKENS

Ana Clara Rabelo dos Santos[1]
Lara Marini Paskauskas[1]
Dayse Helena Lages da Silva[2]

RESUMO

A avicultura de corte ocupa posição de destaque no cenário mundial, sendo o Brasil líder em exportações e segundo maior produtor global de carne de frango. Contudo, a intensificação produtiva torna os animais mais vulneráveis ao estresse térmico, condição comum em regiões tropicais, que compromete o desempenho zootécnico, a saúde e o bem-estar das aves. Este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos fisiológicos do estresse térmico calórico em frangos de corte, bem como seus impactos sobre índices produtivos, incluindo consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar e viabilidade. A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica de artigos científicos, relatórios técnicos e livros especializados publicados nos últimos anos, contemplando também aspectos estruturais, como tipos de galpões, sistemas de climatização e estratégias de manejo. Foram avaliados ainda fatores nutricionais, como suplementação vitamínica, mineral e uso de aditivos funcionais, além do papel da genética na seleção de linhagens mais tolerantes ao calor. Conclui-se que o estresse térmico é um desafio multifatorial, com efeitos diretos na fisiologia, imunidade e metabolismo das aves, resultando em perdas produtivas e econômicas. Estratégias integradas de manejo nutricional, ambiental e genético representam alternativas viáveis para mitigar seus impactos, favorecendo a sustentabilidade e competitividade da avicultura brasileira.

PALAVRAS-CHAVE: Avicultura de corte; Estresse térmico; Fisiologia; Desempenho zootécnico; Genética.

[1] Graduandas do curso de Medicina Veterinária da PUC Minas - Lourdes.
[2] Docente do Curso de Medicina Veterinária da PUC Minas - Lourdes.

ABSTRACT

Broiler poultry farming plays a key role in global animal production, with Brazil standing out as the world's leading exporter and the third largest producer of chicken meat. However, production intensification makes birds more vulnerable to heat stress, a common condition in tropical regions that compromises zootechnical performance, health, and animal welfare. This study aims to analyze the physiological effects of heat stress in broilers, as well as its impacts on productive indices, including feed intake, feed conversion, weight gain, and mortality. The methodology consisted of a bibliographic review of scientific articles, technical reports, and specialized books published in recent years, also addressing structural aspects such as housing types, cooling systems, and management practices. Nutritional strategies, including vitamin and mineral supplementation and functional additives, were considered, in addition to the role of genetics in the selection of more heat-tolerant strains. It is concluded that heat stress is a multifactorial challenge, with direct effects on physiology, immunity, and metabolism, resulting in productive and economic losses. Integrated nutritional, environmental, and genetic management strategies represent viable alternatives to mitigate its impacts, supporting the sustainability and competitiveness of Brazilian poultry farming.

KEYWORDS: Broiler farming; Heat stress; Physiology; Zootechnical performance; Genetics.

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de corte ocupa posição de destaque no cenário mundial da produção animal, não apenas pelo expressivo impacto econômico, mas também por seu papel central na segurança alimentar. O Brasil se consolida entre os líderes globais do setor, figurando como o segundo maior produtor e o principal exportador de carne de frango (FAO, 2024). No segundo trimestre de 2025, o abate nacional alcançou 1,64 bilhão de aves, volume 1,1% superior ao registrado no mesmo período de 2024 (IBGE, 2025). Esse crescimento reflete a intensificação da produção, a fim de atender à crescente demanda interna e externa por carne de frango.

Entretanto, o aumento da produção está associado a uma maior suscetibilidade a fatores ambientais desfavoráveis, como o estresse térmico. Essa condição ocorre quando a temperatura do ambiente excede a capacidade de termorregulação das aves e causa alterações fisiológicas e metabólicas que comprometem seu desempenho produtivo e bem-estar. A zona de conforto térmico para frangos de corte está entre 18°C e 21°C, sendo que temperaturas acima de 25°C

já podem iniciar respostas de estresse térmico calórico (OLUWAGBENGA; FRALEY, 2023; DEDOUSI et al., 2023).

As consequências do estresse térmico vão além da queda no desempenho zootécnico. Dentre os efeitos mais relevantes, podemos citar prejuízos à saúde intestinal, à integridade da mucosa e ao equilíbrio redox, fatores determinantes para a imunocompetência das aves. Alterações comportamentais, como aumento da frequência respiratória e redução da ingestão de alimento, também são observadas (APALOWO et al., 2024). Além disso, provoca impactos econômicos significativos devido à redução do ganho de peso, piora da conversão alimentar, aumento da mortalidade e comprometimento de outros indicadores produtivos (BHAWA et al., 2023).

Nesse contexto, torna-se essencial compreender os processos fisiológicos do estresse térmico e as estratégias de manejo voltadas à redução de seus efeitos. Diante disso, o presente trabalho objetiva analisar o estresse térmico calórico em frangos de corte, com ênfase em seus efeitos fisiológicos e impactos sobre os principais índices zootécnicos. Além de avaliar fatores estruturais, como instalações e equipamentos, e o papel de estratégias nutricionais e genéticas na mitigação dos efeitos adversos do calor.

Para atingir os objetivos do estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com foco em artigos de revistas científicas disponíveis em PubMed, Poultry Science, SciELO, ScienceDirect, entre outras. Priorizou-se a consulta a publicações mais recentes, selecionando trabalhos dos últimos cinco anos, relevantes para o tema, com metodologia confiável e resultados atualizados. O estudo reúne informações teóricas e práticas que ajudam a entender melhor o estresse térmico em frangos de corte e discutir estratégias mais eficientes para mitigá-lo.

2. FISIOLOGIA DO ESTRESSE TÉRMICO

2.1. Estresse térmico por calor

2.1.1. Mecanismos de termorregulação em aves adultas

A termorregulação corresponde à capacidade das aves de manter a temperatura corporal dentro de limites fisiológicos, mesmo diante de variações ambientais (FLORIANO, 2013). Essa estabilidade se deve ao fato desses animais serem homeotérmicos, logo mantém a

temperatura corporal em níveis relativamente constantes, em torno de 40,6 a 41,9°C (FREITAS, 2021).

As aves não possuem glândulas sudoríparas, o que limita sua eficiência em dissipar calor e torna mais dependente o equilíbrio entre produção e perda de calor (NASCIMENTO; SILVA, 2021). A manutenção da homeotermia ocorre a partir da relação entre o calor gerado pelo metabolismo e a capacidade do organismo de eliminá-lo por mecanismos sensíveis e latentes, associados também a ajustes comportamentais que auxiliam na regulação térmica (ABREU; ABREU, 2004; KPOMASSE et al., 2021).

Entre as perdas sensíveis de calor, estão a condução, radiação e convecção. A condução ocorre quando o corpo da ave entra em contato direto com superfícies mais frias, como o piso, gaiolas, ou água, o que permite que o calor se mova das moléculas mais quentes para as mais frias (ABREU; ABREU, 2004). A radiação consiste na perda de calor sem que haja contato físico, através da superfície da pele ou áreas desprovidas de penas, em que o calor é transmitido por ondas eletromagnéticas para objetos próximos mais frios (FLORIANO, 2013). Já a convecção é classificada como a perda de calor para o ar, intensificada por ventos ou correntes de ar. As aves podem abrir as asas para aumentar a superfície de troca térmica (COSTA; DOURADO; MERVAL, 2012).

Já a transferência de calor latente nas aves acontece principalmente pela evaporação, processo em que a água presente no sistema respiratório é transformada em vapor para retirar o calor do organismo. Esse mecanismo é importante principalmente quando a temperatura do ambiente se aproxima da corporal, em que os meios sensíveis de dissipação deixam de ser eficientes (NAVAS, 2014). No entanto, a eficácia da evaporação está relacionada diretamente a umidade relativa do ar, que é favorecida em climas secos, mas reduzida em ambientes úmidos, já que a diferença de pressão de vapor entre o organismo e o meio é pequena. Dessa forma, a água não evapora de forma eficiente, o que diminui a perda de calor (KPOMASSE et al., 2021). Além disso, regiões sem cobertura de penas, como crista e barbelas, aumentam a área de superfície disponível para trocas térmicas, contribuindo de forma eficiente para a dissipação de calor por vias sensíveis e evaporativas (FREITAS, 2021).

2.1.2. Alterações fisiológicas na temperatura corporal e respostas ao estresse térmico calórico

O estresse é caracterizado quando alterações na temperatura ambiental exigem mudanças nos processos metabólicos do organismo para manter a homeostase (FLORIANO, 2013). Nas aves mais velhas, o estresse térmico ocorre principalmente em condições de calor excessivo, em que a capacidade de dissipar calor é superada e resulta no aumento da temperatura corporal e na ativação de diversos mecanismos fisiológicos para preservar o estado de equilíbrio do organismo (APALOWO et al., 2024).

Os primeiros mecanismos ativados com o objetivo de manter a homeotermia são os comportamentais e termorregulatórios. As aves buscam aumentar a superfície corporal exposta ao ajustarem a postura, abrirem as asas e procurarem áreas mais frias, para assim favorecer a troca de calor com o ambiente. Áreas sem penas, como crista e barbela, facilitam a perda de calor devido a sua alta vascularização, o que permite que o sangue proveniente das regiões centrais do corpo alcance as extremidades e auxilie na dissipação térmica (ou favoreça a perda de calor). Em paralelo, o aumento da frequência respiratória acontece como consequência da respiração ofegante, promovendo a perda de calor por evaporação no sistema respiratório. Esse processo se torna essencial quando os mecanismos sensíveis de dissipação são insuficientes (BHAWA; MACHETE; MORÊKI, 2023; FREITAS, 2021; NAVAS, 2014). A presença de sacos aéreos, embora não façam parte diretamente dos pulmões, permite que o ar circule de forma contínua pelos pulmões e amplie a capacidade respiratória, o que contribui indiretamente para a termorregulação (MANGAN; SIWEK, 2024). Além disso, os sacos aéreos favorecem o resfriamento por evaporação, ao aumentar a circulação de ar nas superfícies internas das vias respiratórias, o que facilita a perda de calor. Eles ajudam a distribuir o ar e o calor de forma uniforme pelo corpo, permitem respirações mais eficientes, o que reduz o esforço respiratório durante períodos de calor intenso, e contribuem para a manutenção contínua da troca gasosa, auxiliando na regulação da temperatura interna mesmo sob estresse calórico (LARA; ROSTAGNO, 2013; MAINA, 2022). Essas respostas iniciais ocorrem em minutos a poucas horas após a exposição ao calor e representam a primeira linha de defesa, imediata e reversível, voltada a manter a temperatura corporal dentro dos limites fisiológicos (DEDOUSI et al., 2023).

Conforme o estresse persiste e se intensifica, o organismo começa a sofrer alterações cardiovasculares, como a vasodilatação periférica, em que o fluxo sanguíneo é direcionado

para a superfície corporal. A troca de calor com o ambiente aumenta, visto que a potencialização da circulação sanguínea ajuda a reduzir o excesso de calor produzido internamente, enquanto a respiração ofegante segue com a transferência de calor por evaporação. Porém, essas respostas exigem uma redução do fluxo sanguíneo para órgãos centrais, resultando em sobrecarga do coração, elevação da frequência cardíaca e maior vulnerabilidade do sistema cardiovascular em situações de estresse prolongado (DEDOUSI et al., 2023; MANGAN; SIWEK, 2024).

Se a exposição ao calor continuar, o próximo sistema a ser afetado é o metabolismo das aves. Inicialmente, ocorre a redução do consumo de alimentos, em resposta, a produção de calor endógeno diminui. Enquanto isso, a ingestão de água aumenta para sustentar a perda de calor por evaporação e manter o equilíbrio hídrico. O organismo passa a utilizar reservas energéticas, como glicose e lipídios, o que afeta o crescimento, a eficiência alimentar e a estrutura corporal. Ao mesmo tempo, a maior atividade metabólica, decorrente do esforço do organismo para lidar com o calor, aumenta a produção de radicais livres, gera estresse oxidativo e provoca um desequilíbrio redox, em que a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) excede a capacidade antioxidante do organismo, danificando proteínas, lipídios e DNA, além de intensificar a resposta inflamatória (ARYAL et al., 2025; ALGOTHMI et al., 2024; OKE et al., 2024).

O estresse térmico calórico começa a desencadear respostas endócrinas relevantes, associadas principalmente aos eixos hipotálamo-hipófise-adrenal e tireoidiano. Essas mudanças resultam no aumento da liberação de corticosterona e redução dos hormônios da tireoide, além de afetar o metabolismo e desempenho produtivo (OLUWAGBENGA; FRALEY, 2023; HUANG et al., 2024; PRATES, 2025).

Por fim, também pode impactar a saúde intestinal das aves, com alterações na microbiota intestinal, aumento da permeabilidade e comprometimento da integridade da mucosa, o que pode reduzir a absorção de nutrientes e comprometer a função imunológica (KIKUSATO; TOYOMIZU, 2023; LIU et al., 2023; NCHO et al., 2025).

2.1.3. Metabolismo e desequilíbrio redox em frangos sob o estresse térmico calórico

O estresse térmico calórico contínuo leva a alterações do metabolismo nos frangos, com redução do consumo de alimento e consequente mobilização de reservas energéticas, como glicogênio e lipídios para sustentar funções vitais e a termorregulação (ARYAL et al., 2025).

Quando a temperatura do ambiente ultrapassa a zona de conforto térmico, as aves buscam reduzir a produção de calor interno, já que a termogênese elevaria ainda mais a temperatura corporal. Para isso, diminuem o consumo de alimento, principal fonte de calor metabólico, proveniente da digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes (ALGOTHMI et al., 2024). Essa adaptação compromete a energia disponível para crescimento, síntese proteica e deposição de gordura, o que prejudica a eficiência alimentar e o ganho de peso (OKE et al., 2024).

Apesar da redução alimentar, as aves aumentam a ingestão de água, essencial para manter a perda de calor evaporativa, tanto pela respiração ofegante quanto pelas regiões sem penas, como crista e barbela. A ingestão hídrica adequada sustenta o equilíbrio hídrico e garante que a dissipação de calor continue eficiente. Na ausência de água, há maior risco de desidratação, o que compromete o desempenho produtivo e a homeostase térmica (ALGOTHMI et al., 2024; ARYAL et al., 2025).

Com menor disponibilidade de alimentos, o organismo mobiliza reservas energéticas, recorrendo ao glicogênio hepático e aos lipídios armazenados para produção de energia. A glicose liberada na corrente sanguínea fornece energia imediata, enquanto os ácidos graxos provenientes dos lipídios sustentam a respiração celular. Embora esse mecanismo mantenha as funções vitais, ele eleva a atividade metabólica das células, especialmente nas mitocôndrias, o que aumenta a demanda energética e o metabolismo celular (OKE et al., 2024).

A maior atividade metabólica intensifica o consumo de oxigênio nas mitocôndrias, retículo endoplasmático e peroxissomos. Esse aumento favorece a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), radicais livres, como superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radicais hidroxila ($\cdot OH$), que participam de processos como a sinalização celular e defesa imunológica (ARYAL et al., 2025). Em excesso, as ROS atuam como moléculas altamente reativas, o que causa danos a lipídios de membranas celulares, proteínas e DNA, caracterizando estresse oxidativo (ALGOTHMI et al., 2024).

O organismo possui defesas antioxidantes, como enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase e glutationa peroxidase, responsáveis por neutralizar as ROS (OKE et al., 2024). Quando a produção dos radicais livres supera a capacidade antioxidante, instala-se um desequilíbrio redox. Órgãos com alta atividade metabólica, como fígado, músculos e intestino, são vulneráveis a esses efeitos, logo apresentam comprometimento na síntese proteica, metabolismo lipídico, absorção de nutrientes e função imunológica (ARYAL et al., 2025). Com

isso, são desencadeados processos inflamatórios e aumento da expressão de citocinas pró-inflamatórias, o que compromete a função celular, diminuindo a eficiência metabólica, limitando a energia disponível para crescimento e reparo tecidual e prejudicando a conversão alimentar. Como resultado, o estresse oxidativo e o desequilíbrio redox contribuem para a queda no desempenho produtivo e o estresse sistêmico nas aves (ALGOTHMI et al., 2024; OKE et al., 2024).

2.1.4. Respostas endócrinas ao estresse térmico calórico

Quando a ave é exposta ao calor excessivo, o hipotálamo detecta a elevação da temperatura corporal e envia sinais à hipófise, o que induz a liberação de ACTH (hormônio adrenocorticotrófico). Esse hormônio estimula as glândulas adrenais a secretarem glicocorticoides, como a corticosterona, que passa a mobilizar glicose a partir do glicogênio hepático, fornecendo energia imediata para manter as funções vitais e a termorregulação. Ao mesmo tempo, estimula a lipólise, liberando ácidos graxos do tecido adiposo, que são oxidados para produção de ATP. Esse ajuste ocorre porque o organismo prioriza a manutenção da temperatura corporal, o que leva à queda de atividades metabólicas secundárias, como crescimento e deposição de tecidos. Além disso, a corticosterona modula o sistema imunológico, inibindo respostas inflamatórias e limitando a atividade de células de defesa. Esse mecanismo permite que a energia seja redirecionada para a termorregulação, mas aumenta a suscetibilidade a infecções, visto que o organismo não consegue investir em respostas imunes intensas durante o estresse térmico (OLUWAGBENGA; FRALEY, 2023).

Em paralelo, o eixo tireoidiano responde ao calor intenso reduzindo a síntese de T3 (triiodotironina) e T4 (tiroxina). Esses hormônios regulam o metabolismo basal das células, o que induz a produção de calor, a síntese de proteínas e a oxidação de lipídios. Com a queda dos níveis de T3 e T4, há redução do metabolismo celular, principalmente em tecidos que consomem muita energia, como fígado, músculos e intestino. Essa adaptação evita a produção excessiva de calor interno e contribui para manter a temperatura corporal dentro de limites seguros. Como resultado, o organismo prioriza a manutenção da homeotermia e das funções vitais, mas comprometendo o desenvolvimento corporal e a eficiência metabólica (HUANG et al., 2024; PRATES, 2025).

2.1.5. Impacto sobre a saúde intestinal e a integridade da mucosa

O intestino é um dos órgãos mais sensíveis ao estresse térmico, pois seu funcionamento depende do equilíbrio entre fluxo sanguíneo, composição da microbiota intestinal, integridade da mucosa e sistema imune. Em ambientes de alta temperatura, o organismo direciona parte do fluxo sanguíneo para a pele e extremidades para dissipação de calor para o ambiente. Esse mecanismo, no entanto, reduz a irrigação intestinal, o que leva a um quadro de hipóxia nos tecidos locais. A baixa oxigenação, associada à produção elevada de radicais livres (ROS) e ao estresse oxidativo, compromete a viabilidade das células epiteliais e fragiliza as estruturas que formam a barreira intestinal (KIKUSATO; TOYOMIZU, 2023).

O dano celular causado danifica os complexos proteicos na junção entre as células epiteliais do intestino. Essas proteínas funcionam como barreiras seletivas, regulam a passagem de moléculas pela mucosa, como patógenos e toxinas. No estresse térmico, a combinação entre hipóxia intestinal, ação dos radicais livres, aumento da corticosterona e a liberação de citocinas pró-inflamatórias, reduz a expressão e estabilidade dos complexos proteicos. Isso resulta na abertura de fendas microscópicas entre as células epiteliais, o que aumenta a permeabilidade intestinal, condição conhecida como “intestino permeável”. Dessa forma, moléculas indesejadas, como endotoxinas bacterianas, conseguem atravessar a mucosa e ativar respostas inflamatórias locais e sistêmicas que, além de sobrecarregar o organismo, consome energia que poderiam ser destinadas ao crescimento e eficiência produtiva (NCHO et al., 2025).

Além da barreira física, a microbiota intestinal é afetada pelo calor excessivo. A microbiota bacteriana sofre desequilíbrio, com redução de populações benéficas, como *Lactobacillus* spp. e *Bifidobacterium* spp., além do crescimento de agentes oportunistas. Essa alteração leva a queda na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs), fundamentais para a nutrição dos enterócitos e para o controle de processos inflamatórios. A redução desses metabólitos, somada à ação das ROS, prejudica a regeneração do epitélio e enfraquece ainda mais a defesa contra patógenos (LIU et al., 2023).

A consequência dessas alterações é a diminuição da capacidade de absorção de nutrientes essenciais, como aminoácidos, minerais e vitaminas. Esse déficit compromete a deposição de proteínas e lipídios, reduz o crescimento e a eficiência da conversão alimentar. Ao mesmo tempo, a constante exposição a agentes microbianos e ao estresse oxidativo mantêm o sistema imune em alerta e promove um estado inflamatório persistente, o que agrava o

desequilíbrio metabólico e acelera o desgaste fisiológico (KIKUSATO; TOYOMIZU, 2023; NCHO et al., 2025).

Dessa forma, o estresse térmico não apenas limita a função digestiva, mas também compromete a integridade da barreira intestinal, promove desorganização das proteínas de junção epitelial intestinal, altera a composição da microbiota e propicia um ambiente inflamatório contínuo. Esses efeitos fazem do intestino um elemento de extrema importância na resposta ao calor, já que estabelece uma relação direta entre saúde intestinal, imunidade e desempenho produtivo das aves (LIU et al., 2023; NCHO et al., 2025).

3. INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

3.1. Galpões convencionais

Os galpões convencionais correspondem, na avicultura de corte, principalmente a estruturas mais antigas que permanecem em uso, já que os novos empreendimentos são orientados a adotar galpões climatizados de pressão negativa. Esses sistemas de alojamento semiaberto utilizam predominantemente fatores ambientais para o controle climático, o que os torna suscetíveis ao estresse térmico calórico, sobretudo em períodos com temperaturas elevadas e alta umidade relativa do ar. O estresse térmico ocorre quando o índice de temperatura e umidade (Temperature–Humidity Index – THI) ultrapassa o valor 72, provocando reduções no ganho de peso diário (GPD) de até 20% e aumento da mortalidade das aves (LARA; ROSTAGNO, 2013).

No cenário brasileiro, galpões convencionais são comuns em propriedades de pequeno e médio porte. Contudo, apresentam restrições à adoção de estratégias integradas de manejo que atenuem impactos fisiológicos, como alcalose respiratória e desequilíbrios eletrolíticos (BORGES et al., 2004).

3.1.1 *Características Estruturais*

As estruturas dos galpões convencionais são projetadas para maximizar a ventilação natural e reduzir custos, apresentando dimensões típicas de 100 a 150 metros de comprimento, 10 a 12 metros de largura e altura de 2,5 a 3,5 metros nas laterais, podendo alcançar até 4 ou 5 metros no centro, favorecendo o fluxo de ar (OLIVEIRA et al., 2019). O telhado é geralmente composto por telhas de fibrocimento ou metálicas, com inclinação de 15% a 20% para

escoamento de água pluvial. Em alguns casos, utilizam-se materiais reflexivos para reduzir a absorção da radiação solar em até 30% (BORGES et al., 2004).

As laterais dos galpões são equipadas com cortinas de lona ou redes plásticas retráteis, que possibilitam abertura total em dias quentes e fechamento em condições de frio ou chuva. O piso pode ser de terra compactada, tradicionalmente coberto por cama de casca de arroz, amendoim ou maravalha, com espessura de 8 a 14 cm, a qual auxilia na absorção da umidade e da amônia. O tratamento correto da cama consiste em realizar o revolvimento diário para evitar compactação e acúmulo de umidade, remover as partes úmidas e empedradas após cada lote e aplicar aditivos como cal virgem, gesso agrícola ou produtos acidificantes, que ajudam a reduzir o pH e a liberação de amônia. Antes da reutilização, recomenda-se promover a fermentação controlada da cama para eliminar microrganismos patogênicos. A substituição total deve ser feita sempre que houver excesso de umidade, mau cheiro ou sinais de contaminação, garantindo melhores condições de higiene e conforto térmico às aves. (BRITO et al., 2023 OLIVEIRA et al., 2021).

Como alternativa, especialmente em regiões úmidas ou com solos instáveis, adota-se o piso de concreto armado com malha de aço, com espessura de 10 a 15 cm e inclinação longitudinal para facilitar o escoamento de líquidos (MIRANDA et al., 2020). Embora essa opção aumente o custo inicial em 20% a 30%, proporciona maior facilidade de higienização entre os lotes, reduzindo a incidência de doenças como a coccidiose em até 15% e evitando a erosão durante períodos de chuvas intensas (SOUZA et al., 2021).

Estudos apontam que essas características estruturais são fundamentais para garantir zonas de conforto térmico nos primeiros dias de vida dos pintos, período em que são mais vulneráveis ao estresse (SOUZA et al., 2021). A ausência de isolamento térmico nas paredes e telhados, no entanto, pode gerar variações de temperatura interna de até 10 °C, agravando o estresse térmico, especialmente em regiões como o Nordeste, onde as temperaturas ambientais podem ultrapassar 35 °C (PAULA, 2009).

A orientação leste-oeste dos galpões é recomendada, pois favorece a entrada dos ventos predominantes e reduz a incidência direta dos raios solares no interior do galpão, minimizando a aquecimento excessivo ao longo do dia (MIRANDA et al. 2020).

3.1.2 *Ventilação Natural e Suas Limitações*

A ventilação natural nos galpões convencionais ocorre por meio do fluxo de ar cruzado, impulsionado por diferenças de pressão atmosférica e convecção térmica. As aberturas laterais permitem velocidades de ar entre 0,1 e 0,3 m/s em condições ideais, removendo calor excessivo e gases como amônia e CO_2, que podem se acumular em concentrações superiores a 20 ppm sob estresse térmico (CZARICK; LACEY, 2020).

Entretanto, essa ventilação é fortemente dependente das condições climáticas externas, apresentando limitações quando os ventos são fracos ou variáveis, ou quando a umidade relativa ultrapassa 70%. Em dias de baixa pressão barométrica, as temperaturas internas podem atingir entre 35 °C e 40 °C, com THI acima de 80, provocando reações fisiológicas adversas nas aves, como taquipneia e vasodilatação periférica (BORGES et al., 2004).

O acúmulo de amônia pode chegar a 50–100 ppm durante ondas de calor, comprometendo a saúde respiratória das aves e reduzindo sua imunocompetência em até 25% (VAN WICKELN, 2017). Além disso, a ventilação natural não distribui o ar de forma uniforme, criando microclimas nas extremidades do galpão e aumentando a variabilidade no crescimento das aves. Essas limitações geram perdas econômicas anuais estimadas em até 10% da produção, especialmente em sistemas de baixa tecnologia (DAHLKE et al., 2021; LIN et al., 2020).

3.1.3 *Estratégias de Manejo para Mitigação do Estresse Térmico*

Para superar as limitações dos galpões convencionais, são necessárias estratégias de manejo ambiental, nutricional e comportamental que integrem soluções de baixa tecnologia com monitoramento constante. O ajuste das cortinas laterais deve ser realizado diariamente, com base em dados de termohigrômetros, visando manter a velocidade mínima do ar em 0,2 m/s e o THI abaixo de 75 (LARA; ROSTAGNO, 2013).

Estudos experimentais demonstram que galpões equipados apenas com ventilação natural apresentam distribuição irregular do ar, resultando na formação de microclimas e no aumento da temperatura interna, o que compromete a uniformidade do lote e intensifica o estresse térmico das aves. Essa condição foi observada por Carvalho et al. (2016), que compararam diferentes sistemas de controle climático e verificaram maior variabilidade térmica nas extremidades dos galpões convencionais. Essas limitações geram perdas econômicas anuais estimadas em até 10% da produção, especialmente em sistemas de baixa tecnologia.

A utilização de sombreamento externo com redes ou árvores ao redor do galpão pode reduzir a radiação solar em até 30%. No âmbito nutricional, a suplementação com eletrólitos (como $NaHCO_3$ e KCl) na água de bebida, em concentrações de 0,2% a 0,5%, é uma medida eficaz para corrigir os desequilíbrios iônicos provocados pela alcalose respiratória. Essa estratégia contribui para restabelecer o pH sanguíneo, melhorar a hidratação das aves e aumentar o ganho de peso diário em até 15%, além de reduzir os níveis de cortisol plasmático em 25% (BORGES et al., 2004).

Além disso, recomenda-se a redução da densidade de lotação para 10 a 12 aves/m² durante períodos mais quentes, assim como a rotação dos lotes e a renovação da cama para evitar o aumento da umidade. Equipamentos como nebulizadores manuais ou ventiladores portáteis de baixa potência (1–2 kW) podem ser utilizados como suporte emergencial durante picos de calor, promovendo a redução da temperatura ambiente em até 5 °C (MIRANDA et al., 2020).

Embora essas estratégias não substituam os sistemas climatizados, representam soluções viáveis e de baixo custo para pequenas propriedades, apresentando retorno sobre o investimento em um período de 6 a 12 meses (FEED E FOOD, 2022). No entanto, sua eficácia está condicionada à adoção de tecnologias de produção e ao monitoramento contínuo das condições ambientais.

3.*2. Galpões climatizados (pressão negativa)*

A produção de frangos de corte em regiões de clima quente e úmido enfrenta desafios ambientais que exigem tecnologias capazes de assegurar conforto térmico e eficiência produtiva. Os sistemas de ventilação por pressão negativa, associados a métodos de resfriamento evaporativo, como nebulização e placas evaporativas (pads), apresentam-se como soluções eficazes para a climatização de galpões avícolas (QUEIROZ 2014; BARBOSA FILHO et al., 2018).

3.2.1 *Fundamentos da climatização e ventilação por pressão negativa*

A nebulização atua pelo resfriamento evaporativo adiabático, reduzindo a temperatura do ar interno por meio da evaporação de microgotículas de água. Esse processo melhora a

dissipação do calor corporal das aves e mantém condições ambientais próximas à zona termoneutra, fundamental para a homeostase térmica dos animais, principalmente em ambientes com temperaturas elevadas, como observados no Nordeste brasileiro (QUEIROZ, 2014).

O sistema de ventilação por pressão negativa cria um fluxo longitudinal de ar no interior do galpão, utilizando exaustores instalados nas extremidades para remover o ar quente e contaminado. A sucção gera uma pressão interna menor que a externa, forçando a entrada de ar fresco pelas aberturas laterais denominadas inlets. Esse mecanismo uniformiza a temperatura, reduz concentrações de amônia e poeira, melhora a qualidade do ar e favorece a dissipação do calor metabólico produzido pelas aves (BARBOSA FILHO et al., 2018; SILVA et al., 2020).

Para garantir a eficiência do sistema, a velocidade do vento interno deve situar-se em torno de 2,5 a 3,0 m/s, proporcionando conforto térmico sem causar estresse mecânico às aves. Irregularidades na distribuição do fluxo de ar podem comprometer a renovação do ar, facilitar o acúmulo de gases nocivos e criar pontos quentes que elevam o estresse térmico local (QUEIROZ, 2014).

3.2.2 *Avaliação ambiental e impactos fisiológicos das aves*

A temperatura e a umidade da cama constituem indicadores relevantes do conforto ambiental. Em galpões com mais de 40 dias de uso, valores da cama superiores a 33°C dificultam a transferência de calor por condução, agravando o desconforto térmico das aves. Mapeamentos espaciais evidenciam variações significativas na temperatura interna, ressaltando a necessidade de ventilação homogênea para evitar zonas críticas e promover melhor qualidade ambiental (QUEIROZ, 2014).

O monitoramento constante da temperatura do ar, umidade relativa e índice de entalpia permite avaliar o microclima interno, possibilitando ajustes rápidos e eficazes nos sistemas de climatização. Em ambientes tropicais com alta umidade relativa, a eficiência da nebulização diminui devido à limitação da taxa de evaporação da água. Por isso, o controle rigoroso do sistema evita a saturação do ar, prevenindo condições que favoreçam doenças respiratórias e proliferação bacteriana (BARBOSA FILHO et al., 2018).

O estresse térmico afeta negativamente as aves, manifestando-se por alterações fisiológicas, como aumento da temperatura corporal e da frequência respiratória, especialmente nas fases finais do ciclo produtivo. Essas condições modificam o comportamento, reduzindo o tempo dedicado à alimentação e aumentando o repouso, prejudicando o ganho de peso e a

conversão alimentar, mesmo quando a mortalidade está controlada. Galpões climatizados adequadamente oferecem um ambiente mais propício ao desenvolvimento saudável das aves, resultando em melhor desempenho zootécnico e qualidade do produto final (KIM et al., 2024; ABD-EL HAMED et al., 2025).

3.2.3 *Componentes estruturais e considerações para o manejo eficiente*

No projeto e manejo dos galpões, deve-se considerar as condições climáticas locais e incorporar recursos como isolamento térmico, vedação adequada, controle de iluminação e sistemas automatizados de monitoramento, assegurando o equilíbrio térmico ao longo do ciclo produtivo. A densidade de alojamento deve respeitar limites entre 14 e 20 aves/m² para evitar agravamento do estresse térmico e garantir o bem-estar animal (QUEIROZ, 2014; BARBOSA FILHO et al., 2018). Estudos experimentais demonstram que densidades superiores a 18 aves/m² elevam a temperatura corporal profunda das aves, aumentando o risco de estresse térmico e comprometendo o desempenho produtivo e a qualidade da carne (GOO et al., 2019).

Os pads evaporativos instalados nas extremidades dos galpões, utilizados para resfriar o ar que entra no ambiente, constituem um componente essencial do sistema. Pesquisas indicam que sistemas de resfriamento por pads podem reduzir a temperatura do ar interno em até 12,5 °C, melhorando o conforto térmico das aves e o desempenho produtivo (ÇAYLİ, 2021). A combinação entre pads e nebulização, aliada à ventilação por pressão negativa, configura uma solução tecnológica eficiente e sustentável para a avicultura de corte em regiões quentes e úmidas, promovendo a melhoria da ambiência, a saúde das aves e o desempenho produtivo (SILVA et al., 2020).

4. IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO NOS ÍNDICES ZOOTÉCNICOS

4.1. Consumo de ração

O estresse térmico calórico provoca redução significativa no consumo de ração em frangos de corte, sendo esta uma das primeiras respostas observadas a partir do aumento da temperatura ambiental. A diminuição da ingestão ocorre como estratégia adaptativa para limitar a produção de calor interno gerado pelo metabolismo da digestão (AL-ABDULLATIF; AZZAM, 2023; MUSA et al., 2025).

O hipotálamo, responsável pelo controle da temperatura corporal, detecta o aumento da temperatura e envia sinais que promovem comportamentos que economizem energia, como a redução do apetite. Esse processo é mediado por hormônios reguladores da ingestão alimentar, como leptina e adiponectina, que atuam inibindo a fome. Em paralelo, a atividade de enzimas digestivas, como tripsina, quimotripsina e amilase, é reduzida, o que prejudica a digestão de proteínas e carboidratos (ONAGBESAN et al., 2023).

Além disso, as aves recorrem à respiração ofegante como mecanismo evaporativo. Esse comportamento aumenta a perda de calor, mas exige maior gasto energético, então desvia energia que seria utilizada para digestão e crescimento muscular, o que reforça a diminuição do consumo de ração (APALOWO et al., 2024; BECKFORD et al., 2020). O fluxo sanguíneo é redistribuído para a pele e ocorre vasodilatação, enquanto órgãos internos recebem menos sangue, o que limita ainda mais o aporte de nutrientes necessários à digestão (ONAGBESAN et al., 2023).

O grau de redução de consumo depende da intensidade do estresse térmico. Em condições de calor extremo, representadas por um índice de temperatura-umidade elevado, observa-se queda significativa na ingestão alimentar. Um trabalho foi realizado para avaliar frangos expostos a diferentes níveis de THI, e os resultados mostraram que aves submetidas a THI 79 apresentaram diminuição de 29% no consumo, enquanto THI 84 provocou queda de 53% em comparação a condições neutras. O THI combina temperatura e umidade relativa do ar, sendo útil para indicar o nível de estresse térmico nas aves e avaliar condições ambientais que afetam o desempenho e bem-estar dos frangos (KIM et al., 2025).

O efeito também varia entre genótipos. Frangos de crescimento rápido, como Ross 308 (Aviagen Group, Reino Unido), têm metabolismo acelerado, o que gera maior produção de calor interno. Quando expostos a temperaturas altas, esses animais diminuem significativamente o consumo de ração como estratégia para diminuir a produção de calor metabólico. Essa redução compromete diretamente o ganho de peso e a eficiência alimentar, o que resulta em maior vulnerabilidade ao estresse térmico. Por sua vez, frangos de crescimento lento, como Naked Neck Kabir (Cobb Europe, Reino Unido), têm metabolismo mais moderado e produzem menos calor interno, o que mantém o consumo de ração próximo ao habitual mesmo em condições de calor. Essa característica confere maior tolerância ao estresse térmico, com impactos menores sobre o ganho de peso e outros índices produtivos (PONTALTI et al., 2025).

Estratégias nutricionais podem amenizar a queda do consumo de ração. Suplementações com eletrólitos, como o bicarbonato de sódio, favorece o equilíbrio ácido-base do sangue e contribui para a manutenção da hidratação, o que minimiza distúrbios metabólicos provocados pelo calor. Antioxidantes, como vitaminas C e E, reduzem a formação de radicais livres e protegem as membranas celulares contra danos oxidativos, o que preserva a função intestinal e a eficiência digestiva. Dietas com maior densidade energética fornecem mais calorias em menor volume de alimento, compensando a menor ingestão provocada pelo estresse térmico calórico. Em conjunto, essas medidas contribuem para manter o metabolismo estável, reduzir o impacto fisiológico do calor e sustentar o desempenho produtivo das aves (LIVINGSTON et al., 2022; ONAGBESAN et al., 2023).

4.2. Conversão alimentar

A conversão alimentar é um índice que mede a eficiência com que os frangos transformam o alimento ingerido em ganho de peso corporal. Quanto menor o valor da CA, mais eficiente é o uso da ração pelo animal (EMBRAPA, 2021).

O estresse térmico por calor compromete a conversão alimentar, principalmente devido à redução do consumo de ração pela ave. A ingestão menor ocorre como estratégia para reduzir a produção de calor metabólico durante a digestão, o que diminui a energia disponível para o crescimento (AL-ABDULLATIF; AZZAM, 2023; BECKFORD et al., 2020).

Além disso, os animais desviam energia para mecanismos fisiológicos de termorregulação, como respiração ofegante e vasodilatação periférica, o que resulta em um maior gasto energético e menor eficiência do alimento consumido (KIM et al., 2025; MUSA et al., 2025). Esse efeito é mais evidente em frangos de crescimento rápido e médio, que possuem metabolismo acelerado e maior produção de calor interno, o que os torna mais suscetíveis à queda na eficiência alimentar. Frangos de crescimento lento, por possuírem metabolismo basal mais baixo, logo gastam menos energia em repouso para funções vitais. Com menor produção de calor interno, a necessidade de respostas termorregulatórias intensas é menor durante exposições prolongadas ao calor. Isso permite que uma maior proporção da energia da ração seja utilizada para crescimento e deposição de tecidos, resultando em leve melhora na conversão alimentar (PONTALTI et al., 2025). Ainda assim, todos os genótipos sofrem algum comprometimento da conversão alimentar sob condições de estresse térmico intenso (APALOWO et al., 2024; ONAGBESAN et al., 2023).

Em resumo, o estresse térmico prejudica a conversão alimentar ao reduzir o consumo de ração, aumentar o gasto energético com termorregulação e induzir alterações hormonais e metabólicas, com efeitos mais severos em frangos de crescimento rápido. Estratégias de manejo, como controle da temperatura e ventilação do galpão, e ajustes nutricionais, incluindo densidade energética da ração e suplementação com vitaminas e minerais, são essenciais para minimizar essas perdas produtivas.

4.3. *Ganho de peso*

O crescimento corporal dos frangos de corte sofre forte influência das condições ambientais, sendo o estresse térmico calórico um dos principais fatores que limitam o ganho de peso. Em situações de calor, os animais apresentam uma série de alterações fisiológicas e comportamentais que acabam comprometendo o desenvolvimento produtivo (AL-ABDULLATIF; AZZAM, 2023; BECKFORD et al., 2020).

A redução do consumo de ração é um dos primeiros efeitos observados, funciona como um mecanismo para evitar o aumento da produção de calor interno. Essa diminuição no aporte de nutrientes resulta em menor disponibilidade energética e proteica para a deposição de tecidos, com impacto direto no peso final das aves (APALOWO et al., 2024). Somado a isso, a redistribuição do fluxo sanguíneo durante o calor prioriza as extremidades do corpo para facilitar a dissipação térmica, mas reduz a irrigação do sistema digestório. Como consequência, a digestão e a absorção de nutrientes ficam prejudicadas, o que agrava a queda no desempenho (KIM et al., 2025).

Em relação ao sistema endócrino, o estresse por calor provoca redução nos níveis de triiodotironina (T3) e aumento de glicocorticoides, como a corticosterona. O calor intenso estimula o eixo hipotálamo-hipófise-tireoide e eleva a produção de corticosterona, que inibe a síntese de hormônios tireoidianos. Além disso, a conversão periférica de T4 em T3 ativo nos tecidos diminui, reduzindo a quantidade de T3 circulante. Essas alterações baixam o metabolismo basal, limitam a deposição muscular e restringem o ganho de peso, sendo responsáveis pelo desenvolvimento limitado das aves em comparação a condições de conforto térmico (BECKFORD et al., 2020; KIM et al., 2025).

Pesquisas realizadas em regiões áridas confirmaram a redução do peso corporal e da deposição de carne peitoral, o que destaca que ambientes quentes comprometem não apenas o crescimento, mas também a qualidade da carcaça (AL-ABDULLATIF; AZZAM, 2023).

Assim, prejuízo em relação ao ganho de peso em frangos de corte sob estresse térmico é resultado da interação entre menor ingestão de nutrientes, absorção intestinal limitada e alterações endócrinas. Esses mecanismos combinados tornam o crescimento corporal um dos indicadores produtivos mais afetados pelo calor, com reflexos diretos sobre a eficiência da avicultura comercial.

4.*4. Mortalidade*

O estresse térmico por calor exerce impacto direto sobre a mortalidade dos frangos de corte, embora a intensidade do efeito varie conforme a intensidade, duração e padrão da exposição. Em condições de calor moderado ou cíclico, os índices de mortalidade tendem a permanecer baixos, pois as aves conseguem períodos de recuperação parcial (AL-ABDULLATIF; AZZAM, 2023). Quando o estresse é contínuo e intenso, a sobrecarga fisiológica aumenta o risco de óbito, principalmente em genótipos de crescimento rápido, devido à menor capacidade de dissipação de calor e ao metabolismo acelerado (APALOWO et al., 2024; MUSA et al., 2025).

A mortalidade sob calor é produto da combinação de fatores fisiológicos e metabólicos. O aumento da temperatura corporal e da frequência respiratória eleva o gasto energético, enquanto o desvio de sangue para superfície corporal compromete a perfusão de órgãos vitais. Esse cenário, associado a desidratação, desequilíbrios eletrolíticos e estresse oxidativo, pode levar à falência de sistemas fisiológicos essenciais (BECKFORD et al., 2020; KIM et al., 2025).

Genótipos de crescimento rápido apresentam maior mortalidade sob altas temperaturas, já linhagens de crescimento lento demonstram maior resistência ao calor, o que favorece a sobrevivência. Isso ocorre porque frangos de crescimento rápido possuem metabolismo acelerado, gerando mais calor interno, e sua capacidade de dissipar calor pelo organismo é limitada. Além disso, o estresse térmico calórico compromete a digestão, a absorção de nutrientes e a função imunológica, tornando-os mais suscetíveis a doenças e óbito. Por outro lado, linhagens de crescimento lento apresentam metabolismo mais moderado, maior eficiência na termorregulação e maior tolerância ao calor. Estudos experimentais confirmam essa diferença ao observarem que, sob estresse térmico, frangos de crescimento rápido apresentaram aumento significativo na mortalidade em comparação com linhagens de crescimento médio e lento. Esses achados evidenciam a influência da seleção genética na resistência ao estresse térmico e reforçam a importância de considerar a adaptabilidade ao calor na escolha de

genótipos para produção avícola em regiões de altas temperaturas (PONTALTI et al., 2025). Estratégias de manejo, como ventilação adequada, fornecimento de água fresca, ajuste da densidade populacional e suplementação nutricional com antioxidantes e correção eletrolítica, reduzem os efeitos adversos do calor e melhoram a taxa de sobrevivência (LIVINGSTON et al., 2022; ONAGBESAN et al., 2023).

De modo geral, a mortalidade dos frangos de corte em situações de estresse térmico reflete a interação entre sobrecarga fisiológica, alterações hormonais, desequilíbrios metabólicos e capacidades adaptativas específicas de cada genótipo, sendo um indicador relevante da severidade do calor sobre a produção avícola.

4.5. *Zona de conforto térmico*

A zona de conforto térmico (ZTC) em frangos de corte representa a faixa de temperatura e umidade na qual as aves conseguem manter a sua temperatura corporal constante, em torno de 41°C, sem ativar demandar esforços significativos para termorregulação, o que garante o desempenho produtivo ideal (CALDERARO et al., 2023; MUNONYE et al., 2023). Essa faixa não é constante e varia de acordo com a idade, o peso corporal e a capacidade de dissipação de calor. Frangos jovens apresentam maior sensibilidade ao calor porque o sistema termorregulatório ainda está em desenvolvimento, possuem penugem fina, o que dificulta o isolamento térmico e o controle da temperatura corporal. Em contrapartida, aves mais velhas apresentam sistema respiratório e mecanismos fisiológicos mais eficientes na eliminação do calor, como aumento da frequência respiratória, vasodilatação periférica e ajustes hormonais que reduzem o metabolismo, permitindo maior tolerância às altas temperaturas (PECORARO et al., 2024; VERCELLINO et al., 2025).

A representação gráfica da ZCT permite visualizar de forma mais clara as faixas de conforto térmico em diferentes condições ambientais e fases de crescimento, o que facilita decisões de manejo. Um método bastante utilizado é o índice de entalpia, que engloba temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica, e analisa a quantidade de energia contida no ambiente e fornece um indicador abrangente do conforto térmico (PECORARO et al., 2024; QUEIROZ et al., 2012). Com base nesse índice, os ambientes podem ser classificados em três categorias. A Entalpia Crítica Inferior (ECI) ocorre quando os valores estão abaixo do mínimo necessário, caracteriza um ambiente frio ou seco demais, que exige maior gasto energético das aves para manter a temperatura corporal, logo compromete o crescimento,

principalmente nos primeiros dias de vida. A Entalpia de Conforto (EC) corresponde à faixa intermediária, na qual os índices de temperatura e umidade encontram-se em equilíbrio, o que permite que as aves mantenham a homeotermia sem esforços adicionais, com melhor desenvolvimento zootécnico e bem-estar. Já a Entalpia Crítica Superior (ECS), ocorre quando os valores ultrapassam o limite superior, ou seja, representam risco de estresse térmico por calor, o que leva as aves a ativarem mecanismos intensos de dissipação, como respiração ofegante e elevação das asas, e resultam em queda no consumo de ração, menor ganho de peso e aumento da mortalidade em situações extremas (QUEIROZ et al., 2012; PECORARO et al., 2024).

A tabela do índice de entalpia para avaliação do conforto térmico de frangos de corte de 6 semanas de idade (Figura 1) apresenta temperatura do ar no eixo X e umidade relativa no eixo Y, com faixas coloridas indicando o nível de conforto, verde para ideal, amarelo para alerta, laranja para risco crítico e vermelho para condições extremas. Essa representação auxilia na identificação rápida de regiões do galpão ou horários do dia em que as aves podem estar fora da faixa de conforto, o que permite ajustes de ventilação, nebulização ou aquecimento, conforme necessário (QUEIROZ et al., 2012).

Para exemplificar graficamente a ZCT de forma mais detalhada, utilizou-se o gráfico clássico da zona de conforto térmico das aves (Figura 2), que evidencia os limites de conforto e estresse térmico. A área central do gráfico representa a faixa de temperatura corporal na qual as aves mantêm a homeotermia com mínimo esforço fisiológico, ou seja, sem necessidade de ativar mecanismos intensos de termorregulação. Quando a temperatura do ambiente cai abaixo dessa zona de conforto, as aves começam a empregar respostas imediatas para conservar calor, como vasoconstrição periférica e arrepio das penas, que reduzem a perda de calor para o ambiente e aumentam levemente a produção interna de calor. Se a temperatura continuar caindo, os frangos aumentam a atividade muscular e consomem mais alimento para produzir calor e manter a temperatura corporal. Entretanto, se a temperatura ambiente permanecer baixa além da capacidade de compensação da ave, a produção de calor torna-se insuficiente, a temperatura corporal cai rapidamente e pode ocorrer hipotermia, com risco de óbito (OLIVEIRA; TECH, 2019).

Por outro lado, quando a temperatura ambiental ultrapassa a faixa de conforto, as aves ativam mecanismos de dissipação de calor para evitar hipertermia. Inicialmente, ocorre vasodilatação periférica e aumento da frequência respiratória, o que permite a eliminação de

calor pelas vias respiratórias e pelas superfícies altamente vascularizadas, como a crista e a barbela. Além disso, o consumo de água aumenta, ajudando na regulação da temperatura corporal. Se as condições de calor persistirem e esses mecanismos não forem suficientes, a temperatura interna da ave continua subindo, podendo levar à hipertermia e, em casos extremos, à morte (OLIVEIRA; TECH, 2019).

O gráfico da Figura 2 complementa a Figura 1 de forma teórica e prática. Enquanto a tabela de entalpia (Figura 1) apresenta valores quantitativos de temperatura e umidade para cada faixa de conforto, permitindo ajustes precisos de manejo, o gráfico clássico (Figura 2) ilustra de forma dinâmica como as aves respondem fisiologicamente a desvios do ambiente ideal. Essa representação facilita o entendimento dos limites críticos, mostrando em que ponto os ajustes naturais das aves são insuficientes e quando ações externas de manejo são necessárias.

A combinação das duas ferramentas permite aos produtores e técnicos monitorar o ambiente de maneira mais eficiente, comparando os registros de temperatura e umidade do galpão com as faixas ideais indicadas. Caso os parâmetros se aproximem ou ultrapassem os limites de conforto, medidas corretivas podem ser adotadas, como ajustes na ventilação, nebulização, aquecimento localizado ou controle da densidade populacional. Dessa forma, garante-se que todas as aves permaneçam dentro da ZCT, minimizando riscos de estresse térmico, perdas produtivas e comprometimento do bem-estar animal (OLIVEIRA; TECH, 2019; QUEIROZ et al., 2012).

Em climas quentes e úmidos, a manutenção da ZCT depende da interação entre temperatura, umidade e velocidade do ar. Estudos indicam que a faixa ideal para frangos de corte situa-se em torno de 28°C, com limite superior crítico entre 30 e 32°C. Temperaturas acima dessa faixa provocam aumento da mortalidade, redução do consumo de ração e ativação de respostas adaptativas, como respiração ofegante, elevação das asas e busca por áreas mais frescas (MUNONYE et al., 2023).

Em resumo, a representação gráfica da ZCT em frangos de corte combina parâmetros ambientais, fisiológicos e anatômicos, permitindo avaliação completa do conforto térmico e fornecendo base sólida para decisões de manejo, incluindo ventilação, aquecimento localizado e densidade populacional adequada, garantindo maior bem-estar animal e desempenho zootécnico otimizado.

Figura 1 – Tabela de entalpia para avaliação do conforto térmico de frangos de corte de 6 semanas de idade (QUEIROZ et al., 2012).

NEAMBE - UFC														
TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE														
Faixa de Conforto para Frangos de corte (6ª semana) - IEC de 37,4 a 52,1 KJ/Kg ar seco														
	Temperatura (°C)													
UR (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
40	34,7	36,6	38,6	40,7	42,8	45,0	47,2	49,5	51,9	54,3	56,8	59,4	62,1	64,8
41	35,1	37,0	39,0	41,1	43,3	45,5	47,7	50,0	52,4	54,9	57,5	60,1	62,8	65,6
42	35,4	37,4	39,5	41,6	43,7	46,0	48,2	50,6	53,0	55,6	58,1	60,8	63,6	66,4
43	35,8	37,8	39,9	42,0	44,2	46,4	48,8	51,2	53,6	56,2	58,8	61,5	64,3	67,2
44	36,1	38,2	40,3	42,4	44,7	46,9	49,3	51,7	54,2	56,8	59,5	62,2	65,1	68,0
45	36,5	38,6	40,7	42,9	45,1	47,4	49,8	52,3	54,8	57,4	60,1	62,9	65,8	68,8
46	36,9	39,0	41,1	43,3	45,6	47,9	50,3	52,8	55,4	58,1	60,8	63,6	66,6	69,6
47	37,2	39,3	41,5	43,8	46,1	48,4	50,9	53,4	56,0	58,7	61,5	64,3	67,3	70,4
48	37,6	39,7	41,9	44,2	46,5	48,9	51,4	54,0	56,6	59,3	62,1	65,0	68,1	71,2
49	38,0	40,1	42,3	44,6	47,0	49,4	51,9	54,5	57,2	59,9	62,8	65,8	68,8	72,0
50	38,3	40,5	42,8	45,1	47,5	49,9	52,5	55,1	57,8	60,6	63,5	66,5	69,5	72,7
51	38,7	40,9	43,2	45,5	47,9	50,4	53,0	55,6	58,4	61,2	64,1	67,2	70,3	73,5
52	39,1	41,3	43,6	45,9	48,4	50,9	53,5	56,2	59,0	61,8	64,8	67,9	71,0	74,3
53	39,4	41,7	44,0	46,4	48,9	51,4	54,0	56,7	59,6	62,5	65,5	68,6	71,8	75,1
54	39,8	42,1	44,4	46,8	49,3	51,9	54,6	57,3	60,1	63,1	66,1	69,3	72,5	75,9
55	40,2	42,5	44,8	47,3	49,8	52,4	55,1	57,9	60,7	63,7	66,8	70,0	73,3	76,7
56	40,5	42,8	45,2	47,7	50,3	52,9	55,6	58,4	61,3	64,3	67,5	70,7	74,0	77,5
57	40,9	43,2	45,6	48,1	50,7	53,4	56,1	59,0	61,9	65,0	68,1	71,4	74,8	78,3
58	41,2	43,6	46,1	48,6	51,2	53,9	56,7	59,5	62,5	65,6	68,8	72,1	75,5	79,1
59	41,6	44,0	46,5	49,0	51,6	54,4	57,2	60,1	63,1	66,2	69,5	72,8	76,3	79,9
60	42,0	44,4	46,9	49,5	52,1	54,9	57,7	60,7	63,7	66,9	70,1	73,5	77,0	80,7
61	42,3	44,8	47,3	49,9	52,6	55,4	58,2	61,2	64,3	67,5	70,8	74,2	77,8	81,4
62	42,7	45,2	47,7	50,3	53,0	55,9	58,8	61,8	64,9	68,1	71,5	74,9	78,5	82,2
63	43,1	45,6	48,1	50,8	53,5	56,4	59,3	62,3	65,5	68,7	72,1	75,6	79,3	83,0
64	43,4	45,9	48,5	51,2	54,0	56,8	59,8	62,9	66,1	69,4	72,8	76,3	80,0	83,8
65	43,8	46,3	48,9	51,6	54,4	57,3	60,3	63,4	66,7	70,0	73,5	77,0	80,8	84,6
66	44,2	46,7	49,4	52,1	54,9	57,8	60,9	64,0	67,3	70,6	74,1	77,7	81,5	85,4
67	44,5	47,1	49,8	52,5	55,4	58,3	61,4	64,6	67,8	71,3	74,8	78,4	82,2	86,2
68	44,9	47,5	50,2	53,0	55,8	58,8	61,9	65,1	68,4	71,9	75,5	79,2	83,0	87,0
69	45,3	47,9	50,6	53,4	56,3	59,3	62,4	65,7	69,0	72,5	76,1	79,9	83,7	87,8
70	45,6	48,3	51,0	53,8	56,8	59,8	63,0	66,2	69,6	73,1	76,8	80,6	84,5	88,6
71	46,0	48,7	51,4	54,3	57,2	60,3	63,5	66,8	70,2	73,8	77,4	81,3	85,2	89,4
72	46,3	49,0	51,8	54,7	57,7	60,8	64,0	67,4	70,8	74,4	78,1	82,0	86,0	90,1
73	46,7	49,4	52,2	55,2	58,2	61,3	64,5	67,9	71,4	75,0	78,8	82,7	86,7	90,9
74	47,1	49,8	52,7	55,6	58,6	61,8	65,1	68,5	72,0	75,6	79,4	83,4	87,5	91,7
75	47,4	50,2	53,1	56,0	59,1	62,3	65,6	69,0	72,6	76,3	80,1	84,1	88,2	92,5
76	47,8	50,6	53,5	56,5	59,6	62,8	66,1	69,6	73,2	76,9	80,8	84,8	89,0	93,3
77	48,2	51,0	53,9	56,9	60,0	63,3	66,7	70,1	73,8	77,5	81,4	85,5	89,7	94,1
78	48,5	51,4	54,3	57,3	60,5	63,8	67,2	70,7	74,4	78,2	82,1	86,2	90,5	94,9
79	48,9	51,8	54,7	57,8	61,0	64,3	67,7	71,3	75,0	78,8	82,8	86,9	91,2	95,7
80	49,3	52,1	55,1	58,2	61,4	64,8	68,2	71,8	75,5	79,4	83,4	87,6	92,0	96,5
81	49,6	52,5	55,5	58,7	61,9	65,3	68,8	72,4	76,1	80,0	84,1	88,3	92,7	97,3
82	50,0	52,9	56,0	59,1	62,4	65,8	69,3	72,9	76,7	80,7	84,8	89,0	93,5	98,1
83	50,4	53,3	56,4	59,5	62,8	66,3	69,8	73,5	77,3	81,3	85,4	89,7	94,2	98,8
84	50,7	53,7	56,8	60,0	63,3	66,8	70,3	74,1	77,9	81,9	86,1	90,4	94,9	99,6
85	51,1	54,1	57,2	60,4	63,8	67,2	70,9	74,6	78,5	82,6	86,8	91,1	95,7	100,4

Representação das faixas de conforto térmico de acordo com a temperatura do ar (eixo X) e umidade relativa (eixo Y). As cores indicam o nível de conforto: verde (ideal), amarelo (alerta), laranja (risco crítico) e vermelho (condições extremas).

Figura 2 – Zona de conforto térmico (OLIVEIRA; TECH, 2019).

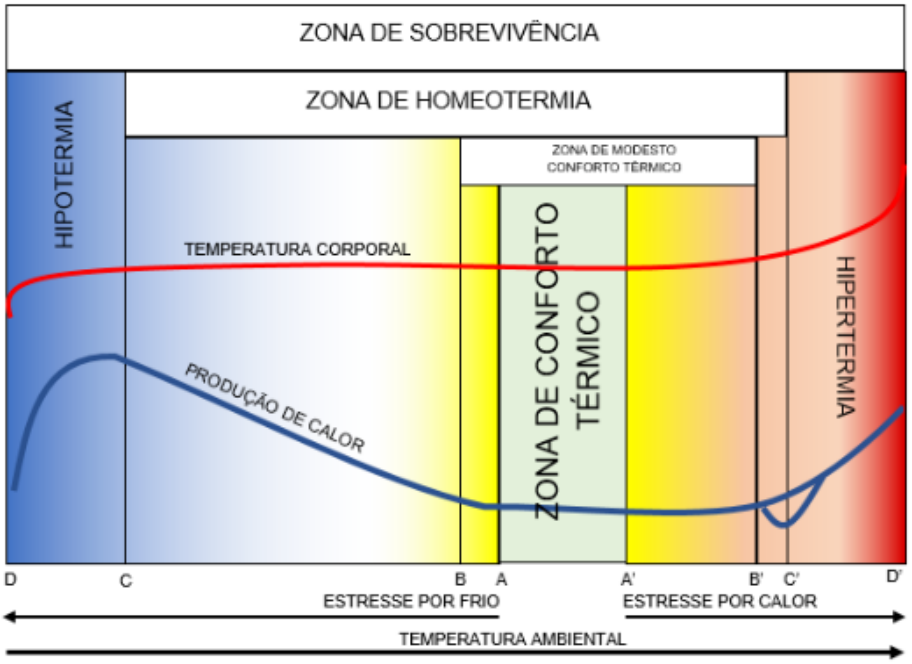


Gráfico que demonstra a variação da temperatura ambiente em relação às respostas fisiológicas das aves. A faixa central representa a zona de conforto térmico, na qual elas mantêm a temperatura corporal estável sem necessidade de esforço adicional. As áreas laterais indicam situações de frio e calor que excedem os limites ideais, associadas ao risco de estresse térmico.

5. ESTRATÉGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL

5.1 Impactos do estresse térmico calórico no desempenho e saúde das aves

No setor de frangos de corte, o principal objetivo passou a ser a obtenção de aves com maior rendimento de carne em menor tempo, além de maior eficiência alimentar que reduza os custos com ração, o item mais oneroso da produção animal. Comparando os dados históricos, observa-se que o frango de corte de 1930, abatido com cerca de 105 dias e pesando em torno de 1,5 kg, apresentava uma conversão alimentar de aproximadamente 3,5 kg de ração por kg de carne. Nas últimas décadas, a evolução genética, nutricional e de manejo resultou em avanços expressivos no desempenho produtivo das aves. Atualmente, os frangos de corte atingem entre 2,6 e 2,8 kg de peso vivo em apenas 35 a 42 dias, com uma conversão alimentar muito mais eficiente, próxima de 1,6 kg de ração por kg de ganho de peso vivo (PATRÍCIO et al., 2024). Essa melhoria reflete o impacto positivo das inovações tecnológicas na avicultura moderna, o que possibilitou maior eficiência produtiva e significativa redução dos custos alimentares, que representam a principal despesa do sistema de criação.

Entretanto, esse avanço no crescimento e rendimento das aves não foi acompanhado por melhorias equivalentes no sistema de termorregulação. Como consequência, frangos modernos enfrentam dificuldades maiores para dissipar calor (HAVENSTEIN et al., 2003; DEEB et al., 2002). Além disso, o clima brasileiro, predominantemente tropical e subtropical, caracterizado por altas temperaturas e umidade, aliado ao aumento gradual da temperatura global e à criação em galpões independentes das condições externas, contribui para o aparecimento frequente do estresse térmico calórico nas granjas (ABREU, 2019).

O calor excessivo afeta diretamente a saúde dos frangos, comprometendo os sistemas imunológico e cardiorrespiratório, elevando os índices de mortalidade e reduzindo o desempenho zootécnico das aves, em razão da menor ingestão de ração e da interferência no metabolismo (NAVAS et al., 2016). Para mitigar esses efeitos, a suplementação com vitaminas e minerais tem se mostrado eficaz.

5.2. *Suplementação vitamínica e mineral*

A suplementação vitamínica e mineral constitui uma estratégia de manejo nutricional eficaz para reduzir os efeitos deletérios das altas temperaturas.

A vitamina A, além de sua função no crescimento e na integridade epitelial, exerce efeito protetor contra o estresse oxidativo quando associada a minerais antioxidantes. Estudos indicam que a suplementação de vitamina A (4,5 mg/kg) aumentou o ganho de peso, melhorou a conversão alimentar, elevou o rendimento de carcaça e reduziu a deposição de gordura abdominal, além de diminuir as concentrações séricas de glicose, colesterol e malondialdeído (MDA), marcador de peroxidação lipídica (KUÇUK et al., 2003).

O zinco, especialmente em formas orgânicas como zinco-metionina, apresenta papel fundamental na ativação enzimática e na proteção antioxidante. A suplementação de zinco-metionina (250 mg/kg) em frangos submetidos ao estresse térmico cíclico aumentou o ganho de peso, melhorou a conversão alimentar, elevou a taxa de sobrevivência e aprimorou a morfologia intestinal. Além disso, houve aumento na atividade de enzimas antioxidantes como a glutationa peroxidase (GPx), indicando melhoria do estado antioxidante do organismo (ZHANG et al., 2023).

O selênio é essencial para a síntese de selenometionina e para a defesa antioxidante. A suplementação de selênio orgânico (1 mg/kg) associada à vitamina E (250 mg/kg) reduziu a expressão de proteínas de choque térmico (HSPs), modulou positivamente genes relacionados

à resposta imune e manteve a integridade intestinal e a microbiota intestinal (WANG et al., 2022). Outro estudo mostrou que a adição de selênio orgânico (0,6 mg/kg) combinada com vitaminas C e E diminuiu a temperatura retal das aves, aumentou o rendimento de carcaça, elevou a digestibilidade da gordura e aprimorou a atividade antioxidante, com maior atividade de superóxido dismutase (SOD) e GPx, além de menor acúmulo de MDA (ZHOU et al., 2022).

As vitaminas C e E atuam como antioxidantes essenciais. A vitamina C (250 mg/kg), mesmo sendo sintetizada endogenamente, apresenta produção insuficiente sob estresse térmico calórico, e sua suplementação aumentou o ganho de peso, melhorou a conversão alimentar e elevou a capacidade antioxidante sérica (TEIXEIRA et al., 2023; SAHIN et al., 2003). A vitamina E, lipossolúvel, protege contra o estresse oxidativo e, quando associada ao selênio, potencializa a defesa antioxidante, contribuindo para a manutenção do desempenho zootécnico e da saúde intestinal das aves (WANG et al., 2022; ZHOU et al., 2022).

5.3. Aditivos funcionais

A utilização de aditivos nutricionais, como probióticos e betaína, representa uma alternativa eficaz para mitigar os efeitos negativos do estresse térmico calórico em frangos de corte. Os probióticos atuam na modulação da microbiota intestinal, na integridade da mucosa e na melhora da resposta imune, refletindo diretamente no desempenho produtivo. Em frangos submetidos ao calor crônico, a suplementação com *Bacillus subtilis* promoveu maior ganho de peso, melhor conversão alimentar, redução da gordura abdominal e manutenção de parâmetros metabólicos, como glicose e colesterol, em níveis fisiológicos (SONG et al., 2020). Resultados semelhantes foram observados com a inclusão de uma mistura de probióticos contendo *Bacillus licheniformis, Bacillus subtilis* e *Lactobacillus plantarum*, que preservou a morfologia intestinal, aumentou a proporção vilosidade/cripta e fortaleceu a expressão de proteínas de junção celular (occludina e ZO-1), indicando melhor integridade da barreira intestinal (SONG et al., 2014). Além disso, estudos recentes apontam que probióticos de diferentes linhagens reduzem a peroxidação lipídica no músculo, aumentam a capacidade antioxidante e contribuem para a homeostase intestinal e desempenho zootécnico em ambientes de calor (Al-SAGAN et al., 2018; FARAG et al., 2024).

A betaína, por sua vez, atua como osmoprotetor de grupos metil, contribuindo para a estabilidade celular, manutenção do equilíbrio hídrico e proteção contra o estresse oxidativo. Sua suplementação em frangos submetidos ao calor promoveu aumento linear no ganho de

peso, maior consumo de ração e melhora nas características de carcaça, especialmente com níveis de até 2000 mg/kg (LIU et al., 2019). Outro estudo demonstrou que a inclusão de betaína (1000 mg/kg) em dietas de frangos expostos a altas temperaturas elevou a expressão de proteínas relacionadas à integridade intestinal (occludina, claudina-4 e ZO-1) e modulou positivamente a microbiota cecal, reduzindo os efeitos deletérios do estresse térmico calórico sobre a barreira intestinal (WANG et al., 2020). Revisões recentes também destacam que a betaína exerce papel osmorregulatório fundamental, reduzindo a temperatura corporal, aumentando a digestibilidade de nutrientes e preservando o desempenho produtivo em condições de calor (ATTIA et al., 2019).

Em conjunto, probióticos e betaína se configuram como estratégias nutricionais promissoras para sustentar a saúde intestinal, otimizar o desempenho zootécnico e mitigar os prejuízos associados ao estresse térmico por calor em frangos de corte.

6. INFLUÊNCIA DA GENÉTICA

6.1. Genética na produção de frangos de corte

A genética exerce papel central na avicultura moderna, sendo responsável direta pelos avanços no desempenho zootécnico das aves de corte. Por meio de programas de melhoramento genético, realizados com cruzamentos entre raças e linhagens selecionadas, é possível obter frangos com alta taxa de crescimento, excelente conversão alimentar e rendimento de carcaça superior (EMBRAPA, 2025).

6.1.2 Linhagens comerciais de frangos de corte

As linhagens comerciais de frangos de corte, como Cobb, Ross e Hubbard, resultaram de seleção genética intensiva, com foco em rápido crescimento, alta eficiência alimentar e boa conformação de carcaça. Essas características, embora vantajosas do ponto de vista produtivo, aumentam a taxa metabólica e a produção de calor endógeno, tornando essas aves mais sensíveis ao estresse térmico (BROSSI, 2009).

Em condições de altas temperaturas, frangos dessas linhagens apresentam alterações fisiológicas significativas, incluindo aumento da temperatura corporal, elevação da frequência respiratória e mudanças comportamentais (MENZEL et al., 2017). Especificamente, frangos Cobb expostos ao estresse térmico cíclico apresentam redução no ganho de peso e piora na

conversão alimentar, efeitos que podem ser parcialmente atenuados por suplementação com antioxidantes, como a vitamina C (TEIXEIRA, 2023). De forma semelhante, frangos Ross demonstram queda no desempenho zootécnico e respostas fisiológicas adversas em ambientes quentes (BROSSI, 2009), enquanto a linhagem Hubbard, embora considerada mais rústica, também apresenta redução do ganho de peso e aumento da frequência respiratória sob altas temperaturas (JAHEJO et al., 2017). Esses dados evidenciam que, apesar das diferenças genéticas, nenhuma linhagem comercial é totalmente resistente ao estresse térmico, reforçando a importância de estratégias adequadas de manejo ambiental.

A estrutura genética dessas linhagens segue um sistema hierárquico, que compreende linhas puras (bisavós), avós, matrizes e os frangos comerciais. As linhas puras são selecionadas separadamente por sexo: fêmeas são escolhidas pela capacidade de produzir ovos férteis com alta eclodibilidade, enquanto machos são selecionados por desempenho em crescimento, conversão alimentar e conformação de carcaça (EMBRAPA, 2025). Entre as raças base utilizadas na formação dessas linhagens, destacam-se: Plymouth Rock Branca, pelas penas brancas e pele amarela; New Hampshire, pela boa produção de ovos e pele amarela; Cornish Branca, pela excelente musculatura; e Sussex Light, empregada em sistemas que priorizam frangos de pele branca (EMBRAPA, 2025). Embora essas raças tenham fornecido características genéticas importantes, elas não constituem um cruzamento único que origina diretamente as linhagens comerciais Cobb, Ross ou Hubbard. Essas linhagens resultam de programas complexos de melhoramento genético, envolvendo múltiplos cruzamentos e seleção ao longo de décadas, combinando linhagens puras parentais para gerar os híbridos comerciais com desempenho padronizado, resistência a doenças e características produtivas desejáveis (SMITH; LONERGAN, 2020; EMBRAPA, 2025).

A escolha da linhagem deve considerar tanto o desempenho genético quanto o ambiente de criação. Assim, as linhagens Cobb e Ross são indicadas para sistemas intensivos com controle ambiental, pois apresentam desempenho superior nessas condições; entretanto, sua alta sensibilidade ao calor limita a eficiência em regiões tropicais sem infraestrutura adequada. Por outro lado, a linhagem Hubbard, com menor exigência ambiental e maior rusticidade, representa uma alternativa para sistemas com controle climático limitado, embora ainda exija estratégias específicas de manejo para mitigar os efeitos do estresse térmico (JAHEJO et al., 2017).

6.2. Seleção genética direcionada para tolerância térmica

A resistência ao calor em frangos de corte pode ser aprimorada por programas de seleção genética direcionada, que identificam indivíduos com melhor desempenho sob estresse térmico e utilizam essas informações para aumentar a produtividade e a robustez térmica (OLIVEIRA et al., 2012). As linhagens comerciais, como Cobb, Ross e Hubbard, apresentam diferenças de desempenho e sensibilidade ao calor, sendo que programas de melhoramento genético permitem selecionar aves mais adaptadas às condições tropicais, reduzindo perdas produtivas e melhorando a eficiência zootécnica.

Nesse contexto, as proteínas de choque térmico (HSPs), especialmente a HSP70, têm se destacado como marcadores fisiológicos de tolerância ao calor, pois protegem e estabilizam outras proteínas celulares durante episódios de estresse térmico, prevenindo danos e favorecendo a recuperação funcional (EMBRAPA, 2011). Estudos demonstram que frangos expostos a estresse térmico agudo ou crônico apresentam aumento da expressão de HSP70 em tecidos como fígado, coração e músculo esquelético, evidenciando mecanismos adaptativos que podem ser explorados em programas de melhoramento genético (OLIVEIRA et al., 2012; ZHU et al., 2020). A combinação entre seleção fenotípica e ferramentas genômicas, como marcadores moleculares e seleção assistida por genômica, permite acelerar a identificação de indivíduos mais resistentes e reduzir perdas produtivas durante períodos de calor intenso.

Dessa forma, o estudo da HSP70 e a integração de marcadores genômicos nos programas de seleção representam uma ferramenta estratégica para o desenvolvimento de frangos de corte mais resistentes ao estresse térmico, garantindo maior robustez, produtividade e adaptação das linhagens comerciais às condições de criação em regiões tropicais.

6.3. Perspectivas futuras na melhoria genética de frangos de corte

As perspectivas futuras para a genética de frangos de corte incluem o uso de seleção genômica para identificar loci específicos associados à resistência térmica, com a integração de dados genotípicos e fenotípicos das linhagens Cobb, Ross e Hubbard (JAHEJO et al., 2017). Essa abordagem pode gerar respostas mais eficazes frente às mudanças climáticas e ao aumento da frequência de ondas de calor.

Outro ponto essencial consiste em considerar a interação genótipo × ambiente (G×E) nos programas de melhoramento, de forma a garantir que os animais selecionados apresentem bom desempenho não apenas em ambientes controlados, mas também em condições desafiadoras, como nas regiões tropicais e subtropicais.

Além da seleção genética, a integração com o manejo ambiental torna-se indispensável. Fatores como controle de temperatura, ventilação adequada, densidade de alojamento apropriada e fornecimento constante de água fresca influenciam diretamente o sucesso produtivo. Assim, a escolha da linhagem deve ser compatível com o ambiente de produção e os recursos disponíveis (BROSSI, 2009; MENZEL et al., 2017; JAHEJO et al., 2017).

Portanto, a combinação entre genética e manejo ambiental é essencial para garantir a eficiência e sustentabilidade da produção de frangos de corte em climas quentes. A genética fornece o potencial produtivo, mas o ambiente determina a expressão plena desse potencial.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estresse térmico calórico é um dos principais desafios da avicultura de corte moderna, especialmente em regiões tropicais como o Brasil, onde o clima exerce influência direta sobre o desempenho produtivo e o bem-estar das aves. A exposição a temperaturas acima da zona de conforto térmico provoca diversas respostas fisiológicas, metabólicas, hormonais, cardiovasculares e comportamentais, que comprometem o consumo de ração, a conversão alimentar e o ganho de peso, além de elevar os índices de mortalidade. O desequilíbrio redox e os prejuízos à integridade intestinal reforçam o caráter multifatorial desse problema, que afeta de forma significativa a eficiência produtiva e a sustentabilidade do sistema.

As pesquisas analisadas demonstram que não existe uma solução única capaz de eliminar os efeitos do estresse térmico por calor. No entanto, a adoção integrada de estratégias de manejo ambiental, nutricional e genético representa a alternativa mais eficaz para minimizar seus impactos. A utilização de galpões climatizados com pressão negativa, ventilação artificial e sistemas combinados de refrigeração, associada à suplementação com vitaminas, minerais e aditivos funcionais, bem como à seleção de linhagens geneticamente mais tolerantes ao calor, constitui um conjunto de medidas que, quando aplicadas de forma planejada e complementar, favorece a manutenção da produtividade e da saúde das aves.

Conclui-se que a sustentabilidade e a competitividade da avicultura de corte brasileira dependem da capacidade do setor em integrar práticas produtivas eficientes com o bem-estar animal. Investimentos contínuos em pesquisas, tecnologias inovadoras e programas de melhoramento genético voltados à tolerância térmica são essenciais para enfrentar os impactos das mudanças climáticas e assegurar o avanço sustentável da produção avícola nas próximas décadas.

REFERÊNCIAS

ABD-EL HAMED, M.; ALI, R. A.; EL-SHERBINY, S. A.; et al. *Performance of broiler chickens in open vs. climate-controlled houses under high temperature conditions*. Poultry Science, v. 104, n. 2, p. 891–902, 2025. DOI: 10.1016/j.psj.2024.10.010.

ABREU, Paulo Giovanni de. Recomendações técnicas ao avicultor para evitar o estresse calórico em frangos de corte. Brasília: Embrapa, 2019. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191524/1/ITAV-37-PAbreu.pdf. Acesso em: 30 set. 2025.

ABREU, Paulo Giovanni de; ABREU, Valéria Maria Nascimento. Conforto térmico para aves. Comunicado Técnico 365. Embrapa Suínos e Aves, 2004. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/961847/1/DCOT365.pdf. Acesso em: 6 set. 2025.

AL-ABDULLATIF, A.; AZZAM, M. M. Effects of hot arid environments on the production performance, carcass traits, and fatty acids composition of breast meat in broiler chickens. Life, Basel, v. 13, n. 6, p. 1239, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-1729/13/6/1239. Acesso em: 25 set. 2025.

ALGOTHMI, Khloud M.; MAHASNEH, Zeinab M. H.; ABDELNOUR, Sameh A.; KHALAF, Qahtan A. W.; NORELDIN, Ahmed E.; BARKAT, Rasha A.; KHALIFA, Norhan E.; KHAFAGA, Asmaa F.; TELLEZ-ISAIAS, Guillermo; ALQHTANI, Abdulmohsen H.; SWELUM, Ayman A.; ABD EL-HACK, Mohamed E. Protective impacts of mitochondria enhancers against thermal stress in poultry. Poultry Science, v. 103, n. 1, p. 103218, Jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103218.

ALIMENTAÇÃO E COMIDA. Limitações econômicas na avicultura brasileira. Feed&Food, São Paulo, 2022. Disponível em: https://feedandfood.com.br/revista/. Acesso em: 15 set. 2025.

AL-SAGAN, A. A. et al. Effects of probiotic (Bacillus subtilis) supplementation on meat quality characteristics of breast muscle from broilers exposed to chronic heat stress. Poultry Science, v. 97, n. 9, p. 3358-3367, 2018. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30137545/. Acesso em: 1 out. 2025.

AL-SHAIKHLY, Khalid et al. Alleviating heat stress effects in poultry: updates on methods and mechanisms of actions. Frontiers in Veterinary Science, v. 10, art. 1255520, 2023. DOI: 10.3389/fvets.2023.1255520. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2023.1255520/full. Acesso em: 15 set. 2025.

APALOWO, O. O.; ADEBAYO, O. O.; OLUWATOYIN, O. O. Impact of heat stress on broiler chicken production. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, v. 3, n. 2, p. 10, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2674-1164/3/2/10. Acesso em: 5 set. 2025.

ARYAL, Bikash; KWAKYE, Josephine; ARIYO, Oluwatomide W.; GHAREEB, Ahmed F. A.; MILFORT, Marie C.; FULLER, Alberta L.; KHATIWADA, Saroj; REKAYA, Romdhane; AGGREY, Samuel E. Major oxidative and antioxidant mechanisms during heat stress-induced oxidative stress in chickens. Antioxidants, v. 14, n. 4, p. 471, 2025. DOI: 10.3390/antiox14040471. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3921/14/4/471. Acesso em: 10 set. 2025.

ATTIA, Y. A. et al. Betain in poultry nutrition: a review of its physiological functions, dietary effects, and role in alleviating heat stress. World's Poultry Science Journal, v. 75, n. 1, p. 39-56, 2019. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30238641/. Acesso em: 1 out. 2025.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Desempenho de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 10, p. 711–716, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbeaa. Acesso em: 28 set. 2025.

BARBOSA FILHO, J. A.; NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; et al. *Influência da densidade de alojamento no desempenho e bem-estar de frangos de corte.* Engenharia Agrícola, v. 38, n. 4, p. 485–494, 2018.

BARBOSA FILHO, JAD et al. Galpões avícolas climatizados: uma ferramenta eficiente. Revista Avicultura Industrial, edição especial sobre ambiência, 2018.

BECKFORD, R. C.; ELLSTAD, L. E.; PROSZKOWIEC-WĘGLARZ, M.; FARLEY, L.; BRADY, K.; ANGEL, R.; LIU, H.-C.; PORTER, T. E. Effects of heat stress on performance, blood chemistry, and hypothalamic and pituitary mRNA expression in broiler chickens. Poultry Science, v. 99, n. 12, p. 6317–6325, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579120307045?via%3Dihub. Acesso em: 20 set. 2025.

BENINCASA, Natalia Cristina. Caracterização do sistema de criação de frangos de corte em galpões de pressão negativa, das operações pré-abate e da qualidade do produto final. Dissertação (Mestrado) — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

BHAWA, S.; MORÊKI, J. C.; MACHETE, J. B. Poultry management strategies to alleviate heat stress in hot climates: a review. Journal of World's Poultry Research, v. 13, n. 1, p. 1-19, 2023. Disponível em: https://jwpr.science-line.com/attachments/article/71/JWPR%2013%281%29,%201-19,%202023.pdf. Acesso em: 5 set. 2025.

BORGES, S. A. et al. Estresse térmico em aves de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 4, p. 1700-1708, jul./ago. 2004. Disponível em: SciELO. Acesso em: 15 set. 2025.

BORGES, S. A. et al. Influence of dietary electrolyte balance and environmental temperature on broiler performance. Journal of Applied Poultry Research, v. 13, n. 4, p. 623–634, 2004. DOI: https://doi.org/10.1093/japr/13.4.623

BROSSI, S. Influência do estresse térmico em frangos de corte comerciais. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2009.

CALDERARO, C. F.; BRENNECKE, K.; PEREIRA, L. A. M.; ADORNO, L. S. B.; MARTINS, O. O.; LIMA, T. O.; SGAVIOLI, S. Índices de conforto térmico em aves de produção – Revisão sistemática. Research, Society and Development, v. 12, n. 6, e11012641910, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i6.41910. Acesso em: 27 set. 2025.

CARVALHO, T. M. R.; NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; SOUZA, S. R. L.; LIMA, N. D. Characterization of the thermal environment in broiler houses with different climate control systems. *Engenharia Agrícola*, v. 36, n. 5, p. 760–771, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/j/eagri/a/Tb9W546TNpkQ7bvvYHCszby/

ÇAYLİ, A. *Efficiency of two different types of evaporative cooling systems in poultry houses.* Journal of Thermal Biology, v. 96, p. 102825, 2021. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.102825.

COSTA, E. M. S.; DOURADO, L. R. B.; MERVAL, R. R. Medidas para avaliar o conforto térmico em aves. PUBVET, Londrina, v. 6, n. 31, ed. 218, art. 1452, 2012. Disponível em: https://www.pubvet.com.br/uploads/fe2366b3bee041c79690dfe74f637380.pdf#:~:text=empregado%20na%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20fisiol%C3%B3gica%2C%20nos%20mecanismos%20de,ocorre%20pelos%20processos%20sens%C3%ADveis%20(condu%C3%A7%C3%A3o%2C%20radia%C3%A7%C3%A3o%20e. Acesso em: 7 set. 2025.

CURTO, Clara Francine Oliveira; SOUZA, Sérgio Roberto Lima de; BUENO, Luiz Gustavo de Freitas; AMORIM, Cláudia Aparecida. Conforto térmico em instalações para frangos de corte. Revista Delos, v. 18, n. 67, p. e5307, 2025. DOI:10.55905/rdelos18.n67-186.

CZARICK, M.; LACEY, R. Ventilação em galpões avícolas. Poultry Science, Champaign, v. 5, p. 2456-2465, maio de 2020.

DAHLKE, F. et al. *Environmental management and cooling strategies for broiler chickens under heat stress conditions.* Poultry Science, v. 100, n. 4, p. 1010–1020, 2021.

DEDOUSI, I.; et al. Thermal Comfort, Growth Performance and Welfare of Olive Pulp Fed Broilers during Hot Season. Sustainability, v. 15, n. 14, p. 10932, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10932. Acesso em: 1 set. 2025.

DEEB, N. et al. Genotype-by-environment interaction with broiler genotypes differing in growth rate: 2. The effects of high ambient temperature on dwarf versus normal broilers. Poultry Science, v. 80, n. 7, p. 695-702, 2001. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11372701/. Acesso em: 30 set. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Desempenho zootécnico – frango de corte.* Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/frango-de-corte/producao/gestao-unidade-produtora/desempenho-zootecnico. Acesso em: 22 out. 2025.

EMBRAPA. Expressão genética da proteína de choque térmico HSP70 em frangos de corte submetidos a estresse térmico agudo. Embrapa, 2011.

EMBRAPA. Frango de corte: genética, melhoramento e desempenho. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: https://www.embrapa.br. Acesso em: 30 set. 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAOSTAT: Production and trade data – Poultry meat*. Disponível em:https://www.fao.org/faostat/en/?utm. Acesso em: 30 ago. 2025.

FARAG, M. R. et al. The comparative effects of probiotics on growth, antioxidant indices and intestinal histomorphology of broilers under heat stress condition. Animal Biotechnology, v. 35, n. 1, p. 96-106, 2024. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39379397/. Acesso em: 1 out. 2025.

FLORIANO, Luciane Sperandio. Aula 8: Fisiologia da termorregulação. In: AVICULTURA: anatomia e fisiologia das aves domésticas. Urutaí: Rede E-Tec Brasil, 2013. p. 80-85.

FREITAS, Cirliane de Abreu. Efeito do nível de proteína bruta na ração sobre indicadores de termorregulação de codornas europeias em crescimento. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/62416/3/2021_tcc_cafreitas.pdf. Acesso em: 5 set. 2025.

GOO, D.; KIM, J. H.; PARK, G. H.; DELOS REYES, J. B.; KIL, D. Y. *Effect of heat stress and stocking density on growth performance, breast meat quality, and intestinal barrier function in broiler chickens.* Animals, v. 9, n. 3, p. 107, 2019. DOI: 10.3390/ani9030107.

HAVENSTEIN, Gerald B.; FERKET, Peter. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. Poultry Science, v. 82, n. 10, p. 1509-1518, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/9022382. Acesso em: 30 set. 2025.

HUANG, Yuyin; CAI, Hongying; HAN, Yunsheng; YANG, Peilong. Mechanisms of heat stress on neuroendocrine and organ damage and nutritional measures of prevention and treatment in poultry. Biology, v. 13, n. 11, art. 926, 2024. DOI: 10.3390/biology13110926. Disponível em: https://www.mdpi.com/2079-7737/13/11/926. Acesso em: 14 set. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *2024 registra recorde no abate de bovinos, frangos e suínos*. Agência de Notícias — Releases, 18 mar. 2025. Disponível em:https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42898-2024-registra-recorde-no-abate-de-bovinos-frangos-e-suinos?utm. Acesso em: 30 ago. 2025.

JAHEJO, A. et al. Performance e parâmetros fisiológicos de frangos Hubbard expostos a estresse térmico. Journal of Animal Science, 2017.

KIKUSATO, Motoi; TOYOMIZU, Masaaki. Mechanisms underlying the effects of heat stress on intestinal integrity, inflammation, and microbiota in chickens. Journal of Poultry Science, v. 60, n. 2, art. 2023021, 2023. DOI: 10.2141/jpsa.2023021. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10406517/. Acesso em: 17 set. 2025.

KIM, H. R.; SEONG, P.; SEOL, K.-H.; PARK, J.-E.; KIM, H.; PARK, W.; CHO, J. H.; LEE, S. D. Effects of heat stress on growth performance, physiological responses, and carcass traits in broilers. *Journal of Thermal Biology*, v. 127, p. 103994, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103994

KIM, H. R.; SEONG, P.; SEOL, K.-H.; PARK, J.-E.; KIM, H.; PARK, W.; CHO, J. H.; LEE, S. D. *Effects of heat stress on growth performance, physiological responses, and carcass traits in broilers*. Journal of Thermal Biology, v. 127, p. 103994, jan. 2025. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2024.103994.

KPOMASSE, Cocou Claude; OKE, Oyegunle Emmanuel; HOUNDONOUGBO, Frédéric Mankpondji; TONA, Kokou. Broiler production challenges in the tropics: A review. Veterinary Medicine and Science, v. 7, n. 3, p. 831–842, 2021. DOI: 10.1002/vms3.435. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349143630_Broiler_production_challenges_in_the_tropics_A_review. Acesso em: 6 set. 2025.

KÜÇÜK, Osman; SAHIN, Nurhan; SAHIN, Kazim. Supplemental zinc and vitamin A can alleviate negative effects of heat stress in broiler chickens. Biological Trace Element Research, v. 94, n. 3, p. 225–235, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1385/BTER:94:3:225. Acesso em: 1 out. 2025.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Poultry Science*, v. 92, n. 7, p. 2055-2065, 2013. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-2615/3/2/356. Acesso em: 21 out. 2025.

LIMA, Karla Andrea Oliveira de. *Avaliação de sistemas de ventilação mecanizada por pressão positiva e negativa utilizados na avicultura de corte*. 2011. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2011.

LIN, H. et al. *Effect of ventilation and air distribution on thermal comfort and performance of broiler chickens.* Poultry Science, v. 99, n. 8, p. 4215–4224, 2020.

LIU, Xuan; MA, Zhenhua; WANG, Yanfei; et al. Heat stress exposure causes alterations in intestinal microbiota, transcriptome, and metabolome of broilers. Frontiers in Microbiology, v. 14, art. 1244004, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1244004. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2023.1244004/full. Acesso em: 16 set. 2025.

LIU, Y. et al. Effects of dietary betaine on growth performance, digestive function, carcass traits, and meat quality in indigenous yellow-feathered broilers under long-term heat stress. Animals, v. 9, n. 8, p. 1-13, 2019. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31370305/. Acesso em: 1 out. 2025.

LIVINGSTON, Matthew L. et al. Effect of heat stress, dietary electrolytes, and vitamins E and C on growth performance and blood biochemistry of the broiler chicken. Frontiers in Animal Science, v. 3, p. 807267, 2022. DOI: 10.3389/fanim.2022.807267. Disponível em:

https://www.frontiersin.org/journals/animal-science/articles/10.3389/fanim.2022.807267/full. Acesso em: 21 set. 2025.

MAINA, J. N. Perspectives on the Structure and Function of the Avian Respiratory System. *Frontiers in Animal Science*, 2022. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fanim.2022.851574/full. Acesso em: 21 out. 2025.

MANGAN, M.; SIWEK, M. Strategies to combat heat stress in poultry production: a review. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl.), v. 108, n. 3, p. 576–595, May 2024. DOI: 10.1111/jpn.13916.

MENZEL, R. et al. Respostas fisiológicas de frangos de corte Cobb e Ross a diferentes condições ambientais. Poultry Science, 2017.

MIRANDA, A. et al. Estruturas e manejo em galpões avícolas. Nutritime, São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.nutritime.com.br. Acesso em: 15 set. 2025.

MOREIRA, Ludmyla Martins; SOUSA, Lorena Salim; GUATO GUAMÁN, César Andrés; VIEIRA, Mariana Cristina; SANTINI, Matheus Barros; CARDOSO, Alexandre Rodrigues; LEME, Fabíola de Oliveira Paes; LARA, Leonardo José Camargos; ARAÚJO, Itallo Conrado Sousa. Effects of cold stress on physiologic metabolism in the initial phase and performance of broiler rearing. Journal of Thermal Biology, v. 119, p. 103773, jan. 2024. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2023.103773.

MUNONYE, J. O.; MUNONYE, C. C.; ESIEGWU, A. C. Assessment of thermal comfort of broiler birds in warm-humid climate. *Tropical Agricultural Research & Extension*, v. 26, n. 3, p. 1–10, 2023. Disponível em: https://tare.sljol.info/articles/5639/files/6512969046d5b.pdf. Acesso em: 27 set. 2025.

MUSA, A. A.; MAMAT-HAMIDI, K.; IDRUS, Z.; CHUNG, E. L. T.; SAMAT, N.; KASSIM, N. A. Effects of heat stress on growth metrics, carcass characteristics, telomere length, and gene expression in chickens. *Poultry Science*, v. 104, n. 11, p. 105698, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105698. Acesso em: 25 set. 2025.

NASCIMENTO, Sheila Tavares; SILVA, Iran José Oliveira da. *As perdas de calor das aves: entendendo as trocas de calor com o meio*. 2010. Disponível em: https://www.avisite.com.br/cet/img/20100916_trocasdecalor.pdf. Acesso em: 5 set. 2025.

NAVAS, Thuany de Oliveira. Estresse por calor na produção de frangos de corte. Trabalho acadêmico (Zootecnia). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/66/o/6_ESTRESSE_POR_CALOR_NA_PRODU%C3%87%C3%83O_DE_FRANGOS_DE_CORTE.pdf. Acesso em: 30 set. 2025.

NCHO, Chris Major. Heat stress and the chicken gastrointestinal microbiota: a systematic review. Journal of Animal Science and Biotechnology, v. 16, art. 85, 2025. DOI: 10.1186/s40104-025-01225-6. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12168420/. Acesso em: 17 set. 2025

OKE, O. E.; AKOSILE, O. A.; ONI, A. I.; OPOWOYE, I. O.; ISHOLA, C. A.; ADEBIYI, J. O.; ODEYEMI, A. J.; ADJEI-MENSAH, B.; UYANGA, V. A.; ABIOJA, M. O. Oxidative stress in poultry production. Poultry Science, [S.l.], 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579124005820. Acesso em: 10 set. 2025.

OLIVEIRA, L. et al. Estratégias de seleção genética para tolerância térmica em frangos de corte. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 2012.

OLIVEIRA, Marcelo Eduardo de; TECH, Adriano Rogério Bruno. Implementação e avaliação de um sistema automatizado de monitoramento e controle térmico em um aviário convencional utilizando tecnologia IoT. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336370769_Implementacao_e_avaliacao_de_um_sistema_automatizado_de_monitoramento_e_controle_termico_em_um_aviario_convencional_utilizando_tecnologia_IoT . Acesso em: 22 out. 2025.

OLIVEIRA, R. et al. Dimensões estruturais em avicultura tropical. Engenharia Agrícola , Jaboticabal, v. 2, pág. 150-160, 2019.

OLUWAGBENGA, E. M.; FRALEY, G. S. *Heat Stress and Poultry Production: A Comprehensive Review*. Poultry Science, 2023. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37852055/. Acesso em: 31 ago. 2025

ONAGBESAN, O. M.; ANTHONY, U. V.; OLUWADAMILOLA, O.; KOKOU, T.; OYEGUNLE, O. E. Alleviating heat stress effects in poultry: updates on methods and mechanisms of actions. Frontiers in Veterinary Science, v. 10, 2023. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1255520/full. Acesso em: 22 set. 2025.

OUCHI, Yoshimitsu; CHOWDHURY, Vishwajit S.; COCKREM, John F.; BUNGO, Takashi. Thermal conditioning can improve thermoregulation of young chicks during exposure to low temperatures. *Frontiers in Animal Science*, v. 3, p. 919416, 09 jun. 2022. DOI: 10.3389/fanim.2022.919416.

PATRICIO, I. S. et al. Overview on the performance of Brazilian broilers (1990 to 2009). Revista Brasileira de Ciência Avícola, v. 14, n. 3, p. 233-238, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbca/a/8wK9NQ8McLckzXwY44WFvNN/?lang=en. Acesso em: 30 set. 2025.

PATRÍCIO, I. S.; LOPES, M.; CARVALHO, D. C. O.; SILVA, V. P.; SANTOS, J. S. Poultry performance improves over past decades. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v. 26, n. 2, eRBCA2024, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbca/a/qy4cFvKHJXVKvGbKk8fdS9z/?format=pdf. Acesso em: 22 out. 2025.

PAULA, Marcos Oliveira de. *Isolamento térmico de aviários e seus efeitos na qualidade do ar interior, consumo de energia e desempenho produtivo de frangos de corte*. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

PECORARO, C. A.; GONÇALVES, J. C.; NUNES, E. H.; BUMBIERIS JUNIOR, V. H.; TAVARES FILHO, J.; MIRANDA, K. O. da S. Entalpia como índice de conforto térmico na produção de frango de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 28, n. 1, e270399, 2024. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n1e270399. Acesso em: 30 set. 2025.

PONTALTI, E.; PIRRONE, F.; DALLE ZOTTE, A.; NALON, E.; VERDIGLIONE, R.; MATTIOLI, S.; BIROLO, M. Impact of heat stress on growth performance and carcass traits of fast-, medium- and slow-growing broiler chicken genotypes. Poultry Science, v. 105, p. 105509, 2025. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105509.

PRATES, José A. M. Heat Stress Effects on Animal Health and Performance in Monogastric Livestock: Physiological Responses, Molecular Mechanisms, and Management Interventions. Veterinary Sciences, v. 12, art. 429, 2025. DOI: 10.3390/vetsci12050429. Disponível em: https://www.mdpi.com/2306-7381/12/5/429. Acesso em: 16 set. 2025.

QUEIROZ, C. *Manejo ambiental de galpões de frangos de corte.* Revista Brasileira de Ciência Avícola, v. 16, n. 3, p. 231–240, 2014.

QUEIROZ, M. L. de V.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C. Avaliação do conforto térmico de frangos de corte de forma direta e prática. Tabelas de Entalpia AviSite. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2012. Disponível em: https://www.avisite.com.br/cet/img/TabelasEntalpiaAviSite2012.pdf. Acesso em: 28 set. 2025.

QUEIROZ, Marília Lessa de Vasconcelos. Conforto térmico de frangos de corte em galpões com sistema de nebulização. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Repositório Institucional UFC.

SAHIN, Nurhan et al. Heat stress and dietary vitamin supplementation of poultry diets. World's Poultry Science Journal, v. 59, n. 4, p. 459–470, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1079/WPS20030069. Acesso em: 1 out. 2025

SILVA, G. A.; LIMA, M. A.; COSTA, J. A.; et al. *Performance of broiler chickens under different cooling systems during hot weather.* Journal of Applied Poultry Research, v. 29, n. 3, p. 1003–1011, 2020. DOI: 10.1016/j.japr.2020.07.002.

SONG, J. et al. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. Poultry Science, v. 93, n. 3, p. 581-588, 2014. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24604851/. Acesso em: 1 out. 2025.

SONG, J. et al. Probiotic bacteria maintain normal growth mechanisms of heat stressed broiler chickens. Journal of Animal Science and Biotechnology, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2020. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32888580/. Acesso em: 1 out. 2025.

TEIXEIRA, F. Efeitos da suplementação antioxidante em frangos de corte submetidos a estresse térmico. Revista Brasileira de Zootecnia, 2023.

TEIXEIRA, M. P. F. Vitamina C na ração de frangos de corte em estresse por calor cíclico. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 7, e7012742484, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v12i7.42484. Acesso em: 21 out. 2025

TEIXEIRA, Maurício de Paula Ferreira et al. Vitamin C in diets of broiler in cyclic heat stress. Research, Society and Development, v. 12, n. 6, p. e424846, 2023. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/42484. Acesso em: 1 out. 2025.

UFMS. Ferramentas nutricionais para mitigação do estresse. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2015. 18 p. (PDF). Disponível em: https://www.ufms.br . Acesso em: 15 set. 2025

VAN WICKLEN, G. Distribuição de ar em ventilação natural. Poultry Science, Champaign, v. 7, p. 2345-2354, jul. 2017.

VASCONCELOS, M. D. C.; SOUZA, L. S.; LOPES, T. S. B.; GUATO GUAMÁN, C. A.; SANTINI, M. B.; CARDOSO, A. R.; SANTOS, L. B. C.; LEME, F. O. P.; LARA, L. J. C.; ARAÚJO, I. C. S. Impact of increased pre-start diet density on broiler chick behavior, corticosterone levels, and performance responses under cold stress during early life. *Journal of Thermal Biology*, v. 124, p. 103974, 12 set. 2024. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2024.103974.

VERCELLINO, R. A.; NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J. Tracking heat stress in broilers: A thermographic analysis of anatomical sensitivity across growth stages. Animals, v. 15, n. 15, art. 2233, 2025. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-2615/15/15/2233. Acesso em: 30 set. 2025.

WANG, A. et al. Influence of dietary vitamin E and selenium supplementation on broilers subjected to heat stress: Part I. Growth performance, body composition, and intestinal nutrient transporters. Animal Feed Science and Technology, v. 283, p. 115–126, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115126. Acesso em: 1 out. 2025.

WANG, Y. et al. Protective effects of dietary betaine on intestinal barrier function and cecal microbial community in indigenous broiler chickens exposed to high temperature environment. Animals, v. 10, n. 10, p. 1-13, 2020. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33105011/. Acesso em: 1 out. 2025.

ZHANG, Zhiwei et al. Effects of zinc methionine and selenium yeast on growth performance, antioxidant capacity, immune function and intestinal morphology of broiler chickens under heat stress. Biological Trace Element Research, v. 200, n. 2, p. 118–127, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1080/00071668.2025.2494600. Acesso em: 1 out. 2025.

ZHOU, H. J.; KONG, L. L.; LIU, Y.; LI, Y.; LIU, Y.; LI, Z.; WANG, Y.; ZHANG, L.; ZHOU, Z. Effects of cold stress on growth performance, serum biochemistry, intestinal barrier molecules, and adenosine monophosphate-activated protein kinase in broilers. *Animal*, v. 15, n. 3, p. 100138, mar. 2021. DOI: 10.1016/j.animal.2020.100138

ZHOU, Z. et al. Heat stress relief for broiler chickens: organic selenium and a vitamin C and E blend can enhance growth, nutrient digestibility, and blood parameters. Animal Feed

Science and Technology, v. 283, p. 115–126, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115126. Acesso em: 1 out. 2025.

ZHU, Y. et al. *Modulation of Heat-Shock Proteins Mediates Chicken Cell Response to Thermal Stress*. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 7, p. 776662, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fvets.2020.776662. Acesso em: 21 out. 2025.