

CARLOS GUTEMBERG DE SOUZA TELES JUNIOR

**CONSUMO ENERGÉTICO E AMBIÊNCIA DE GALPÕES AVÍCOLAS FECHADOS
E POTENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO DE
ACONDICIONAMENTO TÉRMICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Richard Stephen Gates

Coorientadoras: Cecília de Fátima Souza
Ilda de Fátima Ferreira Tinôco

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2019**

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

T269c
2019 Teles Junior, Carlos Gutemberg de Souza, 1989-
Consumo energético e ambiência de galpões avícolas fechados e
potencial de implementação de sistema híbrido de acondicionamento
térmico / Carlos Gutemberg de Souza Teles Junior. - Viçosa, MG, 2019.
96 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Richard Stephen Gates.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Aves - Criação. 2. Ambiente térmico. 3. Galpões - Aquecimento
e ventilação. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 636.5

CARLOS GUTEMBERG DE SOUZA TELES JUNIOR

**CONSUMO ENERGÉTICO E AMBIÊNCIA DE GALPÕES AVÍCOLAS FECHADOS
E POTENCIAL DE IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO DE
ACONDICIONAMENTO TÉRMICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA:

Assentimento:

Carlos Gutemberg de Souza Teles Junior
Autor

Richard Stephen Gates
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as conquistas e proteção.

Aos meus pais, Carlos e Roseli, irmã, Ana Paula, avós Carmezina e Aurea, e madrinha, Carmen pelo amor, incentivo e apoio ao longo de toda minha caminhada.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Agrícola e ao Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais – Ambiagro.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES – Código de Financiamento 001.

Ao Professor Richard Gates pela orientação e confiança.

Às Professoras Ilda de Fátima Ferreira Tinôco e Cecília de Fátima Souza, pelos valiosos ensinamentos, conselhos, incentivo e confiança.

Aos estagiários e amigos do Ambiagro que ajudaram na montagem e execução do experimento: Guilherme, Hiago, Karen, Leticia, Monique e Natalia.

Aos amigos do Ambiagro: Diogo, Geraldo, Hiago, Leticia, Márcia, Monique, Rafaella, Tatiany, pela convivência, auxílio e amizade.

À minha grande amiga e irmã Monique, que me acompanha desde a graduação e está sempre disposta a me ajudar no que eu precisar, e dividiu o experimento comigo.

À Pif-Paf Alimentos e seus funcionários pelo apoio e oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Senhor João de Lima e seu filho João Marcos pelo apoio e compreensão durante o desenvolvimento deste trabalho no aviário.

A todos que, direta ou indiretamente, participaram da realização e conquista de minha formação e deste trabalho. Muito Obrigado!

RESUMO

TELES JUNIOR, Carlos Gutemberg de Souza, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2019. **Consumo energético e ambiência de galpões avícolas fechados e potencial de implementação de sistema híbrido de condicionamento térmico.** Orientador: Richard S. Gates. Coorientadoras: Cecília de Fátima Souza e Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Uma das alternativas para reduzir eventuais efeitos deletérios do ambiente térmico sobre frangos de corte consiste na climatização do alojamento de criação destes, a qual pode ser feita artificialmente via: a) utilização de equipamentos climatizadores durante todo período de vida das aves; b) utilização de equipamentos climatizadores apenas durante os períodos do dia em que as condições térmicas não são favoráveis às exigências dos animais (denominado sistema híbrido). Neste sentido, o sistema híbrido indica ser a melhor solução para as condições da avicultura industrial do Brasil, já que o país possui clima de baixa amplitude térmica, o que favorece, portanto, a utilização de condicionamento térmico natural em boa parte do dia e do ano, sempre quando as condições térmicas são amenas, viabilizando, assim, a economia de energia dispendida nos processos de aquecimento e resfriamento do ambiente das aves. Contudo, estudos comparativos entre as duas formas de manejo dos sistemas climatizados ainda são muito demandados para que se obtenha a melhor solução para as condições do clima do Brasil. Sendo assim, é de fundamental importância atender as exigências de manejo e ambiência animal em consonância com consumo ótimo econômico da energia elétrica que é demandada principalmente para o acionamento dos sistemas de ventilação. Neste sentido, para que o setor avícola brasileiro se mantenha competitivo, com menor custo de produção e nos patamares de sucesso já alcançados, torna-se necessário maior entendimento sobre os sistemas de climatização passíveis de serem adotados nas instalações, visando otimizar o manejo desses e evitando desperdícios de energia durante o processo de condicionamento ambiental, de forma a se encontrar soluções sustentáveis para o condicionamento térmico nas condições do clima tropical e subtropical do país. Com base no exposto, objetivou-se com a esta pesquisa: 1) comparar,

quanto à eficiência energética e o ambiente térmico, aviários de frangos de corte fechados, munidos de sistema de ventilação por pressão negativa em modo túnel (VPN), manejados com dois diferentes sistemas de resfriamento adiabático evaporativo: a) Sistema com painéis evaporativos, instalados na região de abertura de entrada de ar do galpão (VPNPE); b) Sistema de nebulização interna ao aviário, composto de 16 linhas de com oito nebulizadores, posicionadas no sentido longitudinal do alojamento (VPNN); 2) avaliar o potencial de implantação do sistema híbrido de ventilação na instalação (o qual permite aberturas de cortinas, desligamento dos sistemas de ventilação artificial e uso de ventilação natural, sempre que as condições térmicas externas sejam favoráveis). A avaliação foi por meio da caracterização climática da região, visando reduzir o consumo de energia elétrica demandada pelos sistemas de climatização, porém mantendo condições térmicas ideais para a criação dos animais. O experimento foi conduzido em dois aviários similares, situados lado a lado, em uma mesma granja comercial de frangos de corte localizada no município de Ervália – Minas Gerais, situado na Zona da Mata Mineira, em três lotes, sendo um no inverno, um na primavera e outro no verão, correspondendo ao período mais frio, ao período de transição e mais quente do ano, respectivamente. Os aviários não possuíam isolamento térmico, sendo cobertos por telhas de fibrocimento, fechados lateralmente por cortinas de poliuretano. Um dos aviários foi munido de sistema de ventilação negativa em modo túnel associado a painéis de placas evaporativas instalados na região de abertura de entrada de ar do galpão (VPNPE), sendo o outro aviário também munido de sistema de ventilação negativa em modo túnel, contudo associado a 16 linhas longitudinais de nebulizadores internos (VPNN). Cada ciclo experimental foi realizado durante o período de criação das aves, compreendido da primeira a terceira e da quarta a sexta semana de vida das mesmas (fases de aquecimento e pós aquecimento, respectivamente). Todas as aves foram de mesma linhagem, idade, manejo e originárias de mesmo incubatório. Considerando a faixa de conforto térmico para frangos de corte na fase de aquecimento adotada no presente estudo verificou-se que em grande parte do tempo avaliado, a temperatura média horária registrada na zona de ocupação das aves, esteve acima do limite superior da faixa de valores de conforto para frangos de corte nessa idade, mostrando que é possível o

produtor adaptar o manejo do seu sistema de aquecimento para trabalhar com faixas de temperatura mais amenas visando reduzir os custos de aquecimento. Na fase de pós-aquecimento, verificou-se que nos ciclos experimentais avaliados durante o inverno e a primavera, as temperaturas médias horárias registradas no interior de ambos os aviários estudados, estavam dentro da faixa de conforto, enquanto que no verão, verificou-se a ocorrência de períodos com temperatura acima do limite superior da faixa de valores de conforto em ambos os aviários estudados, especialmente no período onde as condições de temperatura externa estavam mais elevadas (12 a 18 horas). O sistema de ventilação em ambos os aviários estudados demandam uma alta quantidade de eletricidade para o seu funcionamento, independente da época do ano avaliada. Verificou-se durante a fase de pós-aquecimento períodos com temperatura externa abaixo e acima da faixa de valores estabelecidos como possíveis para a utilização da climatização natural da instalação, bem como horas com temperatura externa na faixa de valores considerados como possíveis para a promoção da climatização natural da instalação.

Palavras-chave: Avicultura. Acondicionamento térmico. Galpões avícolas.

ABSTRACT

TELES JUNIOR, Carlos Gutemberg de Souza, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2019. **Energy consumption and environment of enclosed poultry houses and potential for implementation of hybrid thermal conditioning system.** Adviser: Richard S. Gates. Co-advisers: Cecília de Fátima Souza and Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

One of the alternatives to reduce possible detrimental effects of the thermal environment on broiler is to acclimatize the broiler housing, which can be artificially made via: a) the use of thermal conditioning equipment throughout the life of the birds; (b) use of thermal conditioning equipment only during periods of the day when thermal conditions are not favorable to animal requirements (called the hybrid system). In this sense, the hybrid system indicates be it is the best solution for the conditions of industrial poultry farm in Brazil, since the country has a low thermal amplitude climate, which favors, therefore, the use of natural thermal conditioning in much of the day and the year, always when the thermal conditions are mild, thus enabling the energy saving spent in the heating and cooling processes of the birds environment. However, comparative studies between the two forms of climate system management are still in high demanded to obtain the best solution for the climate conditions in Brazil. Thus, it is of fundamental importance to meet the requirements of animal handling and environment in line with the optimal economic consumption of electricity that is mainly required for the activation of ventilation systems. In this sense, in order for the Brazilian poultry sector to remain competitive, with lower production costs and the success levels already achieved, it is necessary to understand better the climatization systems that can be adopted in the barns, aiming at optimizing the management of these and avoiding energy waste during the environmental conditioning process, in order to find sustainable solutions for thermal conditioning in the tropical and subtropical climate conditions of the country. Based on the above, the objective of this research was to: 1) compare, for energy efficiency and thermal environment, broiler houses, equipped with negative pressure ventilation system (NPV), managed with two different evaporative cooling systems (a)

System with evaporative panels installed in the barn air inlet region; (b) nebulization system consisting of 16 lines of eight misting nozzles positioned longitudinally of the housing; 2) to evaluate the potential of the installation of the hybrid ventilation system in the barn (which allows the opening of curtains, shutdown of mechanical ventilation systems and the use of natural ventilation, whenever external thermal conditions are favorable). The evaluation was made through the climatic characterization of the region, aiming to reduce the electric energy consumption demanded by the climatization systems, but maintaining the ideal thermal conditions for the rearing of the animals. The experiment was carried out in two similar broiler houses, side by side, in the same commercial broiler farm located in the municipality of Ervália - Minas Gerais, located in Zona da Mata Mineira, in three flocks, one in winter, one in spring and another in summer, corresponding to the coldest, transitional and hottest periods of the year, respectively. The barns did not have thermal insulation, being covered by fiber cement tiles, closed laterally by polyurethane curtains. One of the barns was equipped with a negative ventilation system associated with evaporative panels installed in the air inlet area, while the other barn was also equipped with a negative ventilation system associated with 16 longitudinal lines of internal nebulizers. Each experimental cycle was carried out during the rearing period, from the first to the third and from the fourth to the sixth week of life (brooding and growout phases, respectively). All birds were of the same lineage, age, management and originated from the same hatchery. Considering the thermal comfort range for broilers in the brooding phase adopted in the present study it was found that in most of the evaluated time, the average hourly temperature recorded in the bird occupation zone was above the upper limit of the range of comfort for broilers at this age, showing that it is possible for the broiler farmer to adapt the management of his heating system to work with milder temperature ranges to reduce heating costs. In the growout phase, it was found that in the experimental cycles evaluated during winter and spring, the average hourly temperatures recorded inside both poultry houses were within the comfort range, while in summer, it was verified the occurrence of periods with temperature above the upper limit of the range of comfort values in both poultry houses studied, especially in the period when the external temperature conditions were higher (12 to 18 hours). The ventilation system in both broiler

houses studied demands a high amount of electricity to operate, regardless of the time of year evaluated. During the growout phase, there were periods with outside temperature below and above the range of values established as possible for the use of the natural climate control of the barn, as well as hours with outside temperature in the range considered as possible for the promotion of natural climate control of the barn.

Keywords: Poultry Industry. Poultry houses. Thermal conditioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I

- Figura 1.1 - Esquema da movimentação natural da massa de ar no interior de uma instalação, considerando as aberturas de entrada e saída de ar, localizadas em extremidades opostas (fluxo cruzado).....25
- Figura 1.2 - Esquema da movimentação do ar no interior de uma instalação, devido à ventilação natural térmica (Efeito Chaminé).....27
- Figura 1.3 - Aumento no fluxo de ar, causado pela relação entre as áreas das aberturas de entrada e saída de ar.....28
- Figura 1.4 - Fluxo de ar no aviário durante a ventilação mínima. A: fluxo de ar correto, evitando que o ar frio incida diretamente sobre as aves; B: fluxo de ar incorreto, ar frio incidindo diretamente sobre as aves.....33
- Figura 1.5 - Movimentação do ar no interior do aviário durante a ventilação de transição.....33
- Figura 1.6 - Movimentação do ar no do galpão durante a ventilação por pressão negativa em modo túnel.....34

Capítulo II

- Figura 2.1 – Disposição dos grupos de acionamento dos exaustores nos aviários estudados.....44
- Figura 2.2 – Disposição dos sensores de temperatura e temperatura/umidade relativa na zona de ocupação das aves, durante a fase de aquecimento: [A] Semana 1; [B] Semana 2; [C] Semana 3.....47
- Figura 2.3 – Disposição dos sensores de temperatura e temperatura/umidade relativa, durante a fase de pós-aquecimento na: [A] Entrada de ar; [B] Região central; [C] Saída de ar.....48
- Figura 2.4 – Relação entre a temperatura média horária observada na zona de ocupação das aves, com a temperatura média horária registrada no abrigo meteorológico e com a faixa de valores temperatura recomendada por Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016) para o conforto térmico das aves em cada uma das três semanas da fase de aquecimento durante os três ciclos experimentais avaliados.....50

Figura 2.5 – Relação entre a temperatura média horária observada no interior de ambos os aviários estudados, com a temperatura média horária registrada no abrigo meteorológico e com a faixa de temperatura recomendada por Tinôco (2001) e Medeiros (2001) para o conforto térmico das aves na fase de pós-aquecimento durante os três ciclos experimentais aval.....54

Figura 2.6 – Variação espacial da temperatura média registrada no Aviário climatizado com Sistema de Ventilação por Pressão Negativa associado a Resfriamento Adiabático Evaporativo com Painéis Evaporativos (VPNPE) e no Aviário climatizado com Sistema de Ventilação por Pressão Negativa associado a Resfriamento Adiabático Evaporativo com Nebulizadores (VPNN), nos ciclos experimentais avaliados no inverno, na primavera e no verão.....57

Capítulo III

Figura 3.1 – Disposição dos grupos de acionamento dos exaustores nos aviários estudados.....68

Figura 3.2 – Estimativa do potencial percentual de economia semanal de energia elétrica, considerando as condições climáticas da região (Ervália – MG) e o número mínimo de exaustores ininterruptamente ligados durante a fase de pós-aquecimento, em cada ciclo experimental avaliado.....76

Capítulo IV

Figura 4.1 - Distribuição dos dados de temperatura média diária, referentes ao período histórico de (2014 - 2018) na região de estudo (Ervália).....88

Figura 4.2 – Valores acumulados semanalmente de graus-dia de aquecimento (GDA) e graus-dia de resfriamento (GDR) [°C.dia]. [A] Valores de GDA e GDR calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de aquecimento; [B] Valores de GDA e GDR calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de pós-aquecimento.....89

Figura 4.3 – Número de dias totais de aquecimento (NDA), de resfriamento (NDR) e de dias com temperatura ideal (NDTI). [A] Valores de NDA, NDR e NDTI calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de aquecimento; [B] Valores de NDA, NDR e NDTI calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de pós-aquecimento.....89

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 2.1 – *Setpoint* (temperaturas do ambiente interno, em °C) de acionamento da fornalha de aquecimento em função da idade das aves.....44

Tabela 2.2 – *Setpoints* (temperaturas do ambiente interno, em °C) para acionamento dos grupos de exaustores, ao longo do período de produção das aves.....45

Tabela 2.3 – Manejo da ventilação mínima. (Tempo de liga/desliga durante o dia, e quantidade de exaustores), para condições específicas da cama, ao longo do primeiro período de produção das aves.....45

Tabela 2.4 - *Setpoints* (temperaturas do ambiente interno, em °C) para acionamento do sistema de resfriamento evaporativo, ao longo do período de produção das aves.....46

Tabela 2.5 – Valores máximo, mínimo, médio \pm desvio padrão dos dados horários de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%), verificados no abrigo meteorológico instalado na área externa próxima aos aviários nas três estações climáticas avaliadas.....49

Capítulo III

Tabela 3.1 – Recomendação mínima de ventilação adotada durante a fase de pós-aquecimento em cada um dos ciclos experimentais estudados.....71

Tabela 3.2 – Tempo total de funcionamento do sistema de ventilação (h:min:seg), nos dois aviários estudados, durante a fase de pós-aquecimento no inverno, na primavera e no verão.....72

Tabela 3.3 – Consumo de energia elétrica (kW.h) do sistema de ventilação em ambos os aviários estudados, durante a fase de pós-aquecimento, no inverno, na primavera e no verão.....73

Tabela 3.4 – Número de horas com temperatura abaixo (NHTAB) e acima (NHTAC) da faixa de valores estabelecidos como possíveis para a utilização da climatização natural da instalação (15 a 24°C), e o número de horas com temperaturas dentro dessa faixa de valores (NHTI), verificados em cada semana da fase de pós-aquecimento, na região de Ervália durante o inverno, primavera e verão.....75

Capítulo IV

Tabela 4.1 – Estações Meteorológicas do INMET, suas coordenadas geográficas e distância até a região de estudo (Ervália – MG).....84

Tabela 4.2 – Temperaturas de equilíbrio (T_{base_aq} e T_{base_resf}), baseadas nas exigências térmicas das aves nos diferentes estágios do ciclo produtivo, para o cálculo da necessidade de aquecimento e resfriamento da instalação.....85

Tabela 4.3 – Estimativa anual em (MW.h) da carga de aquecimento (Q_{aq}) e da carga de resfriamento (Q_{resf}), considerando as exigências térmicas para cada semana de vida das aves.....92

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO GERAL | 16 |
| Referências | 18 |
| CAPÍTULO I - Sistemas de ventilação utilizados em galpões típicos da produção brasileira de aves de corte | 19 |
| 1.1 Introdução | 20 |
| 1.2 Tipologias construtivas dos galpões avícolas brasileiros..... | 21 |
| 1.3 Ventilação Natural | 23 |
| 1.3.1 Ventilação natural devido à ação do vento (Dinâmica)..... | 25 |
| 1.3.2 Ventilação natural devido ao gradiente térmico..... | 26 |
| 1.4 Ventilação Mecânica..... | 29 |
| 1.4.1 Ventilação Mecânica por Pressão Positiva..... | 30 |
| 1.4.2 Ventilação Mecânica por Pressão Negativa | 31 |
| 1.5 Ventilação Híbrida | 34 |
| 1.6 Conclusões..... | 35 |
| 1.7 Referências | 36 |
| CAPÍTULO II - Caracterização do ambiente térmico em aviários com diferentes sistemas de climatização | 40 |
| 2.1 Introdução | 42 |
| 2.2 Metodologia..... | 43 |
| 2.3 Resultados e discussão..... | 48 |
| 2.3.1 Fase de aquecimento..... | 49 |
| 2.3.2 Fase de Pós-aquecimento..... | 53 |
| 2.4 Conclusões..... | 59 |
| 2.5 Referências | 59 |
| CAPÍTULO III - Viabilidade técnico-econômica do sistema híbrido de ventilação durante a fase de pós-aquecimento em aviários de corte com pressão negativa..... | 63 |
| 3.1 Introdução | 65 |
| 3.2 Metodologia..... | 66 |
| 3.3 Resultados e discussão..... | 71 |
| 3.4 Conclusões..... | 77 |
| 3.5 Referências | 78 |
| CAPÍTULO IV - Determinação dos parâmetros Graus-Dias de Aquecimento e Resfriamento e estimativa da carga de resfriamento e aquecimento para aviários de frangos de corte | 80 |
| 4.1 Introdução | 82 |
| 4.2 Metodologia..... | 83 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 4.3 Resultados e discussão..... | 88 |
| 4.4 Conclusões..... | 93 |
| 4.5 Referências | 94 |
| CONCLUSÕES GERAIS..... | 96 |

INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com Pessoa et al. (2013), desde a década de 60 o setor avícola brasileiro caracteriza-se como um grande complexo agroindustrial. Sendo assim o manejo da criação, passou a ter um papel fundamental para o sucesso da produção de frangos de corte, influenciando inclusive em outros aspectos que interferem na produtividade, como genética, nutrição e sanidade.

Em regiões de clima quente como o Brasil, torna-se necessário por parte dos criadores uma maior atenção ao manejo dos animais nas instalações buscando reduzir os efeitos do ambiente térmico em especial da temperatura e da umidade relativa do ar sobre o bem estar das aves. Uma das alternativas para reduzir os efeitos do ambiente térmicos sobre os animais é a climatização da instalação. Bueno e Rossi (2006) consideram como instalações climatizadas, aquelas dotadas de equipamentos de ventilação, exaustão, nebulização e painéis de resfriamento evaporativo, cujo objetivo é atingir o conforto térmico no interior do galpão, independente do clima externo.

Silva et al. (2013) afirmam que a ventilação artificial por pressão negativa, atualmente é uma estratégia muito difundida entre os avicultores, buscando proporcionar aos animais um ambiente térmico mais próximo ao ideal, para que os mesmos possam expressar seu máximo potencial produtivo. Porém a forma como é empregada no Brasil, com aviários 100% do tempo fechados e com parte dos exaustores continuamente ligados, acaba gerando desperdício de energia, uma vez o Brasil tem baixa amplitude térmica, apresentando períodos onde seria viável deixar os galpões abertos para economizar energia, além de grande parte dos aviários brasileiros não serem isolados termicamente dificultando o controle das condições de temperatura interna dos galpões fechados 100% do tempo.

De acordo com Migliorini (2013) apesar de ser de fundamental importância para atender as exigências de manejo e ambiência em uma instalação comercial de criação de aves de corte, a climatização dos galpões tem como principal consequência o aumento do consumo de energia elétrica. Esse aumento da demanda de energia elétrica se dá devido a maior frequência de utilização de equipamentos de climatização, como ventiladores, exaustores e nebulizadores.

O manejo híbrido de ventilação, que consiste na mescla da ventilação mecânica com a ventilação natural que é promovida quando as condições climáticas do ambiente externo estão adequadas, pode representar uma importante alternativa para a climatização de instalações avícolas com um baixo custo energético.

Silva et al., (2012) afirmam que apesar da grande evolução da avicultura industrial brasileira nos últimos anos, alcançando bons resultados produtivos e econômicos, a indústria avícola brasileira ainda apresenta uma grande lacuna, uma vez que ainda é comum verificar alto desperdício de energia em vários processos ao longo da cadeia produtiva. A principal demanda de energia elétrica em uma instalação avícola está relacionada ao uso do sistema de climatização do galpão. Ceratto (2016) afirma que em torno de 80% do consumo de energia em uma granja comercial de frangos de corte é destinado ao condicionamento térmico do galpão, sendo que desse total, em torno de 60% é destinado ao sistema de ventilação, 11% para o sistema de aquecimento e 9% para o sistema de resfriamento evaporativo.

Sendo assim é de fundamental importância, para que o setor avícola brasileiro se mantenha no patamar de sucesso alcançado, tanto no mercado interno quanto no externo, propor soluções sustentáveis para o condicionamento térmico das instalações, mesclando técnicas de ventilação natural com a mecânica, o que de certa forma reduziria a demanda por energia elétrica para a climatização do ambiente, diminuindo os custos de produção, abrindo possibilidades do produtor obter um melhor retorno no seu sistema produtivo.

Referências

Bueno, L.; Rossi, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos de corte quanto a energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.497 – 504. 2006.

Ceratto, V. Custo de energia das granjas – O item de maior custo de produção para os integrados da avicultura de corte. **Avicultura Industrial**. 2016. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/custo-de-energia-das-granjas-o-item-de-maior-custo-de-producao-para-os/20160516-095510-c801>

Migliorini, E. **Caracterização da lucratividade da atividade avícola por meio de indicadores de desempenho ligados às instalações elétricas**. Dois Vizinhos – PR. 38p. Trabalho de conclusão de curso (Zootecnia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

Pessoa, G. T.; Sousa, G. V.; Ferraz, M. S.; Feitosa, M. L. T.; Sampaio, A. M. Estratégias inovadoras no manejo de frangos de corte em avicultura industrial: fase pré-inicial, inicial, engorda e final. **PUBVET – Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina, v.7, n.12, p.1-15. 2013.

Silva, E. C da.; Pinto, T. C.; Bischoff, T. Z.; Paloschi, C. L.; Siqueira, J. A. C.; Nogueira, C. E. C. Diagnóstico energético em aviários de frango de corte. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.5, n.2, p.104-112. 2012.

Silva, E. G.; Santos, A. C.; Ferreira, C. L. S.; Sousa, J. P. L.; Rocha, J. M. L.; Silveira Junior, O. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpões de ventilação negativa. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.14, n.1, p.132-141. 2013.

CAPÍTULO I

Sistemas de ventilação utilizados em galpões típicos da produção brasileira de aves de corte

Resumo: Para promover um ambiente térmico confortável para as aves, de forma eficiente e evitando-se desperdício de recursos energéticos, é imprescindível decidir e adotar a melhor opção técnica dentre os diferentes sistemas de acondicionamento térmico ambiente passíveis de serem empregados em galpões avícolas. Cabe, nesta decisão, considerar as características desejáveis de manejo térmico do ambiente para as específicas exigências térmicas das aves, de acordo com sua idade, fase de vida, estação do ano e clima regional, sistema de criação e volume da empresa. Uma das alternativas para reduzir eventuais efeitos detrimenais do ambiente térmico sobre frangos de corte consiste na climatização do alojamento de criação destes, a qual pode ser feita naturalmente (via melhor escolha na concepção arquitetônica dos alojamentos, formas, aberturas, materiais construtivos adotados, localização, orientação, isolamentos, paisagismo circundante, entre outros) ou artificialmente (via utilização de equipamentos climatizadores durante todo período de criação animal ou apenas durante os períodos do dia em que as condições térmicas não são favoráveis às exigências dos animais, denominado sistema híbrido). Neste sentido, o sistema híbrido indica ser uma boa opção para as condições da avicultura industrial do Brasil. O país possui clima de baixa amplitude térmica, o que favorece a utilização de acondicionamento térmico natural em boa parte do dia e do ano, viabilizando a economia de energia dispendida nos processos de aquecimento e resfriamento do ambiente. Sendo assim, é de fundamental importância o conhecimento sobre as formas de acondicionamento ambiente que podem ser adotados na avicultura brasileira para auxiliar na tomada de decisão do projeto. O objetivo desta revisão é avaliar as principais características dos diferentes sistemas de acondicionamento ambiente que podem ser empregados na avicultura, de uma maneira geral.

Palavras-chaves: Ambiência; conforto térmico; pressão positiva; pressão negativa.

Abstract: To promote thermal comfort in environment for broilers, avoiding waste of energy resources, it is essential to decide and adopt the best technical option among the different thermal conditioning systems that can be used in broiler houses. In this decision, it is necessary to consider the desirable thermal management characteristics of the environment for the specific broiler thermal requirements, according to their age, life stage, season and regional climate, breeding system and flock volume. One of the alternatives to reduce possible detrimental effects of the thermal environment on broilers is to ventilate the broiler housing, which can be done naturally (via the best choice in the architectural design of the housing, shapes, openings, building materials adopted, location, orientation, insulation, surrounding landscaping, among others) or artificially (via the use of thermal conditioning equipment throughout the breeding season, or only during periods of the day when thermal conditions are not favorable to animal requirements (hybrid system)). Hence, the hybrid system might be a good solution for the conditions of the Brazilian poultry industry, considering that Brazil has a low thermal amplitude climate, which favors the use of natural thermal conditioning most of the day/year. It makes possible to save part of the energy spent on the heating and cooling processes. Thus, it is crucial to understand about the environmental conditioning systems that can be adopted in Brazilian broiler farm. The aim of this review is to present the main characteristics of the different environment conditioning systems that could be used in poultry farms.

Keywords: Environment; positive pressure; negative pressure; thermal comfort.

1.1 Introdução

Para reduzir os efeitos adversos do ambiente térmico sobre os animais, uma das alternativas mais efetivas utilizada pelos avicultores, consiste na climatização do alojamento de criação. Santos et al. (2009), afirmam que para manter os bons índices da indústria avícola brasileira, são de fundamental importância, o correto dimensionamento e a instalação adequada dos sistemas de ventilação, buscando o conforto ambiental das aves, minimizando os efeitos das variáveis climáticas sobre os animais, e melhorando a qualidade do ar no interior da instalação.

Segundo Souza et al. (2016a), o objetivo da ventilação em instalações de criação de animais é remover o excesso de calor, reduzindo a temperatura e

resfriando a instalação, para assim facilitar as trocas térmicas entre o animal e o ambiente. Além disso, a ventilação é utilizada para reduzir a concentração de gases tóxicos como amônia (NH₃), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) além de reduzir odores (Compostos Orgânicos Voláteis) e poeira, melhorando a qualidade do ar no interior da instalação.

De acordo com Baêta e Souza (2010), a movimentação do ar no interior de uma instalação pode ser promovida de duas maneiras: através da ventilação natural, ou por meio da ventilação artificial (mecânica).

Considerando a importância do correto dimensionamento e da escolha do sistema mais adequado para promover o conforto térmico das aves de forma eficiente, evitando o desperdício de recursos energéticos, é imprescindível o conhecimento dos diferentes sistemas de ventilação que podem ser empregados em galpões avícolas. Portanto, o objetivo desta revisão de literatura consiste em apresentar as principais características dos diferentes sistemas de ventilação utilizados para o condicionamento térmico nas instalações avícolas.

1.2 Tipologias construtivas dos galpões avícolas brasileiros

Segundo Bueno e Rossi (2006), os projetos da grande maioria das instalações avícolas implementados no Brasil, sofrem grande influência da indústria de equipamentos existente nos países de clima temperado, como Estados Unidos e países da Europa. Isso faz com que seja fundamental um detalhado planejamento arquitetônico e estrutural da instalação, adequando esse projeto às condições do bioclima local, minimizando os problemas decorrentes do desconforto térmico e da perda de qualidade do ar, além de reduzir a dependência energética do sistema produtivo.

Fernandes (2017) afirma que nos últimos anos, verifica-se uma tendência mundial na indústria avícola de padronização das dimensões dos aviários. Essa padronização se dá visando a otimização do uso de equipamentos automáticos, para facilitar o trato dos animais (comedouros e bebedouros), e a predominância de climatização artificial.

Em relação à orientação da instalação, Tinôco (2001) afirma que em regiões de clima tropical e subtropical, o eixo longitudinal da instalação deve ser orientado no sentido leste/oeste, evitando o sobreaquecimento da instalação pela forte insolação

durante o verão. De acordo com Damasceno et al. (2010) seguindo esta orientação e com beirais bem projetados, a instalação terá uma fachada permanentemente quente e uma fachada permanentemente fria, proporcionando assim ventilação natural. Os beirais devem ser dimensionados buscando a proteção do interior da instalação contra, chuvas, ventos e raios solares, que em condições extremas podem vir a prejudicar o conforto térmico dos animais alojados. Para isso recomendam beirais de 1,5 a 2,0 metros, instalados em ambas as faces (norte e sul) do telhado.

Em relação ao fechamento lateral dos galpões (face norte/sul), de acordo com Paula et al. (2012) a maioria das instalações brasileiras, apresenta as seguintes características: mureta de alvenaria com espessura variando entre 0,12 e 0,18 m e altura entre 0,2 e 0,4 m, telas metálicas e cortinas de poliuretano (amarelas, azuis ou brancas), instaladas entre a borda da mureta e a altura do pé-direito da instalação. Abreu e Abreu (2011) destacam que nos últimos anos, vem se verificando uma tendência de substituição das cortinas laterais por paredes sólidas, o que torna mais eficiente a vedação do aviário. Porém a substituição das cortinas laterais por paredes sólidas aumenta o custo inicial de implantação do aviário e impossibilita que possa ser empregado o manejo híbrido do sistema de ventilação.

Segundo Mendes (2015) e Coelho et al. (2015) em relação às instalações para galinhas poedeiras no Brasil, a tipologia mais utilizada são as estruturas abertas, com lados cortinados. Nestas instalações, a ventilação é predominantemente natural e controlada pela abertura e fechamento das cortinas, com base nas temperaturas internas da instalação.

O forro é uma outra característica construtiva, muito empregada nos galpões avícolas no Brasil, e tem grande influência no conforto térmico dos animais, e conseqüentemente, na eficiência energética do sistema de climatização da instalação. De acordo com Abreu et al. (2007), o forro serve como uma barreira física contra a radiação recebida e emitida pela cobertura para o interior do galpão, permitindo a formação de uma camada de ar nesse espaço entre o forro e a cobertura, reduzindo assim a quantidade de calor que chega aos animais. Nesse sentido, um forro com isolamento térmico evita que a instalação aqueça demasiadamente nos períodos mais críticos do verão, ou que o ambiente fique muito frio durante o inverno. Isto faz com que os equipamentos do sistema de

ar condicionado térmico artificial sejam acionados com menos frequência, reduzindo assim a demanda energética.

Paula et al. (2012) afirmam que dentre os materiais comumente utilizados, para cobertura de instalações avícolas, as telhas cerâmicas são as que apresentam o melhor desempenho em relação ao conforto térmico dos animais. Ainda segundo os mesmos autores, atualmente vem sendo desenvolvidos materiais industriais de cobertura com isolantes térmicos, sendo esses materiais mais leves, resistentes e com eficiência similar à cerâmica, porém ainda com custo elevado. De acordo com Costa et al. (2012), as telhas de fibrocimento esquentam muito com a incidência dos raios solares, sendo recomendado a pintura da face superior dessa cobertura, que é exposta ao ambiente externo, com uma tinta branca, com alto poder de reflexão, reduzindo o aquecimento da cobertura e conseqüentemente a quantidade de calor transferida da cobertura para o interior da instalação.

Paula (2009) destaca que a falta de isolamento térmico na maioria das instalações brasileiras, consiste em um sério complicante no ar condicionado térmico do ambiente de alojamento das aves, especialmente nos períodos noturno, no inverno e nas fases iniciais da vida das aves, quando estas demandam faixas de temperatura mais elevadas para o seu conforto. Esses isolantes térmicos tem a finalidade de reduzir os efeitos da temperatura externa no interior do aviário, e é geralmente o meio mais eficiente e econômico de melhorar as condições ambientais da instalação.

Essas características construtivas são muito importantes no dimensionamento das instalações, pois influenciam significativamente nas condições térmicas no interior dos galpões, sendo decisivas na escolha do sistema de ventilação mais adequado para cada região, visando o conforto térmico dos animais e uma maior eficiência energética dos sistemas de climatização utilizados.

1.3 Ventilação Natural

A ventilação natural em edificações consiste em uma ferramenta que pode ser utilizada para criar um ambiente interno termicamente confortável e saudável, com economia de energia elétrica quando comparada aos sistemas de ventilação mecânica (Jiang et al., 2003). Albright (1990) define o processo de ventilação natural

como a movimentação do ar, causada por meios naturais, como os efeitos de fluabilidade eólica ou térmica.

Ferreira (2005) afirma que o projeto da instalação para o aproveitamento da ventilação natural, deve levar em consideração as características climáticas da região. Em regiões onde a incidência de altas temperaturas ocorre durante a maior parte do ano, o principal objetivo da ventilação é remover o calor liberado pelas aves e o calor ganho pela radiação solar e pela condução através das paredes. Em regiões frias, o objetivo da ventilação é controlar a umidade e as concentrações gasosas por diluição direta com ar fresco. No entanto na grande maioria das regiões produtoras de frango de corte no Brasil, verifica-se a ocorrência de períodos frios e quentes, o que implica na necessidade de projetos que levem em consideração a possibilidade da instalação operar em função das diferentes condições climáticas da região, possibilitando tanto a ventilação de verão quanto a de inverno.

Em instalações avícolas localizadas em regiões de clima tropical e subtropical, como o Brasil, a ventilação deve atender tanto às exigências térmicas quanto higiênicas. No projeto de engenharia, essas condições são denominadas ventilação para controle de temperatura e ventilação mínima para controle de umidade e contaminantes (Albright, 1990 e Donald, 2009). Essas estratégias de ventilação são implementadas de acordo com as seguintes considerações: orientação e localização do edifício; formato da área e colocação de entradas e saídas de ar e gerenciamento de cortinas. A atenção a esses aspectos acima citados, durante a elaboração do projeto da instalação, permite um manejo da ventilação natural que propicie durante o inverno que o fluxo de ar se desloque naturalmente pela região superior da instalação, evitando o efeito direto do ar frio sobre as aves, e durante o verão que o ar se mova por toda a instalação, promovendo além da renovação higiênica do ar, a remoção do calor (Souza et al., 2016b).

Segundo Baêta e Souza (2010), a ventilação natural pode ser classificada em dinâmica (ou devido ao vento), que é aquela provocada em função da diferença de pressão, causada pela ação dinâmica do vento, e em térmica, que se dá em função da diferença de temperatura entre dois meios considerados.

1.3.1 Ventilação natural devido à ação do vento (Dinâmica)

De acordo com Riveiro (1986), Albright (1990) e ASHRAE (2017), a ventilação natural devido à ação do vento ocorre em função da velocidade e direção do vento, dos gradientes de pressão do vento e do tamanho das aberturas de ventilação. Baêta (1998) afirma que uma diferença de pressão da ordem de 0,05 mmca, já é suficiente para provocar a movimentação do ar, desde que, haja um caminho para que essa massa de ar possa se movimentar.

Segundo Albright (1990), geralmente as pressões positivas (em relação à pressão atmosférica) surgem sempre que o vento desacelera, enquanto que as pressões negativas são geradas sempre que a movimentação de massa de ar deva acelerar ou o fluxo se separar.

A pressão positiva maior que a pressão atmosférica normal, indica que a massa de ar em movimentação encontrou um obstáculo, enquanto que a pressão negativa caracteriza a atração dessa massa de ar. Neste caso, caso haja aberturas neste obstáculo, a pressão positiva forçará a massa de ar a entrar por elas e a pressão negativa forçaria sua saída (Baêta e Souza, 2010).

Abreu e Abreu (2000) afirmam que a taxa da ventilação natural em uma instalação, vai depender da velocidade e direção do vento, da proximidade e dimensão dos obstáculos, como por exemplo, montanhas e construções, e da forma e localização das aberturas de entrada e saída de ar. Além disso, de acordo com Baêta e Souza (2010), para que se possa obter uma eficiente ventilação natural no interior de uma instalação, as aberturas de entrada e saída de ar, devem ser colocadas em extremidades opostas, proporcionando um fluxo cruzado da massa de ar, conforme visto na Figura 1.1.

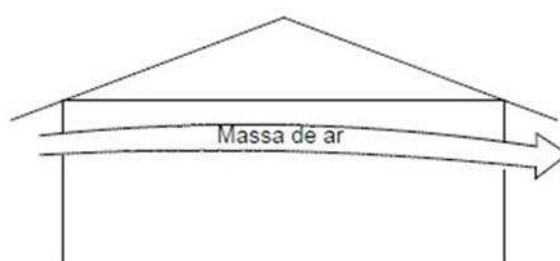


Figura 1.1 - Esquema da movimentação natural da massa de ar no interior de uma instalação, considerando as aberturas de entrada e saída de ar, localizadas em extremidades opostas (fluxo cruzado).

Fonte: Abreu e Abreu (2000)

O fluxo de ar através de uma instalação pode ser determinado em função da velocidade e da direção do vento, dos coeficientes de pressão do vento e do tamanho das aberturas de ventilação, conforme mostrado na Equação 1.1 (Albright, 1990):

$$Q = v \times E \times A \quad (1.1)$$

Onde:

Q – Fluxo de ar causado pela força do vento (m³/s); v – Velocidade do vento (m/s); A – Área livre de entrada de ar (m²); E – Efetividade de abertura (0,5 a 0,6 para correntes de ar perpendiculares, com relação às aberturas e 0,25 a 0,35 para as diagonais).

Apesar de a ventilação natural ser um processo relativamente simples, com baixo custo de instalação e não demandar energia elétrica para o seu funcionamento, um aspecto importante que se deve levar em consideração nesse processo, de acordo com Baêta (1998), é o fato de o vento ser um fenômeno bastante variável no tempo, o que pode ser um fator decisivo na tomada de decisão sobre a utilização deste tipo de ventilação. O controle da taxa de ventilação nas mudanças das condições externas também pode ser um desafio, a menos que as cortinas nas paredes laterais possam ser automatizadas para abrir e fechar de acordo com as mudanças nas condições interiores.

1.3.2 Ventilação natural devido ao gradiente térmico

A ventilação natural induzida por gradiente térmico é baseada na diferença de temperatura do ar interno e externo, que por sua vez cria um gradiente de densidade do ar e resulta em zonas com diferentes pressões estáticas, causando um deslocamento da massa de ar da região de pressão mais alta para a mais baixa (Albright, 1990 e Abreu e Abreu, 2000). Neste caso, se a instalação dispuser de aberturas próximas ao piso e ao teto, e se a temperatura do ar no interior for mais elevada que no exterior, essa massa de ar mais quente e conseqüentemente menos densa, tenderá a ser removida do interior da instalação através das aberturas superiores, ao mesmo tempo em que o ar externo mais frio e conseqüentemente mais denso, penetra pelas aberturas inferiores, próximas ao piso da instalação (Figura 1.2), promovendo um fluxo contínuo da massa de ar no interior da instalação,

gerando o chamado Efeito Chaminé (Riveiro, 1986; Albright, 1990 e ASHRAE, 2017).

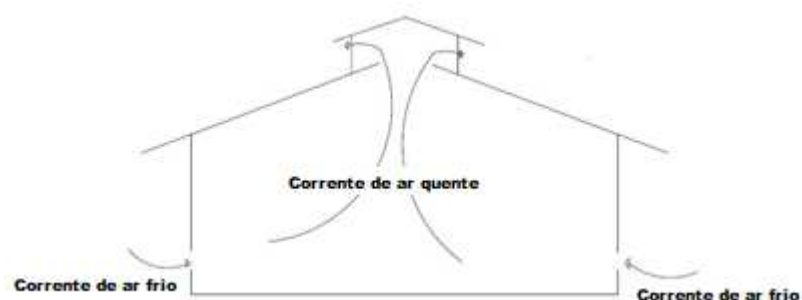


Figura 1.2 - Esquema da movimentação do ar no interior de uma instalação, devido à ventilação natural térmica (Efeito Chaminé)
Fonte: Abreu e Abreu (2000)

Segundo Albright (1990), Baêta e Souza (2010) e ASHRAE (2017), a localização e o dimensionamento adequado das aberturas de entrada e saída de ar, tem grande influência na taxa de ventilação, que pode ser calculada por meio da Equação 1.2:

$$Q_{ch} = 0,128 \times A \times h \times (T_i - T_e) \quad (1.2)$$

Onde:

Q_{ch} – Fluxo de ar causado pelo efeito chaminé (m^3/s); A – Área da menor abertura (m^2); h – altura medida entre a metade da altura da abertura de entrada e a metade da altura da abertura da saída de ar (m); T_i – Temperatura média do ar interno na altura h ($^{\circ}C$); T_e – Temperatura do ar externo à sombra ($^{\circ}C$).

Se a resistência interna do edifício não for significativa, existe um modelo simples para prever a ventilação natural induzida termicamente. Nesse caso, se as áreas de entrada e saída forem iguais, o fluxo causado pelo efeito chaminé pode ser expresso pela Equação 1.3 (Albright, 1990 e ASHRAE, 2017):

$$Q = C_D A \sqrt{\frac{2g\Delta h(T_i - T_e)}{T_i}} \quad (1.3)$$

Onde:

Q - Taxa de ventilação ($m^3.s^{-1}$); A - Área de abertura (m^2); C_D - Coeficiente de descarga para abertura (varia entre 0,6 e 0,7, e leva em consideração as perdas devidas ao atrito do ar contra a superfície interna, o resfriamento durante o percurso e a contração que ocorre na entrada); g - Aceleração da gravidade ($m.s^{-2}$); Δh -

Diferença entre a altura da entrada e saída de ar (m); T_i - Temperatura interna (K); T_e - Temperatura externa (K).

De acordo com ASHRAE (2017), algumas observações devem ser consideradas em relação à Equação 1.3: aplica-se quando $T_i > T_e$; Se $T_i < T_e$, substitua T_i no denominador por T_e e substitua $(T_i - T_e)$ no numerador por $(T_e - T_i)$; Se o edifício tiver mais de uma abertura para o fluxo de ar da ventilação natural, as áreas de saída e entrada serão consideradas iguais; O coeficiente de descarga C_D é responsável por todos os efeitos viscosos, como arraste da superfície e mistura interfacial. Quando a abertura é desigual, a área menor é usada na equação 3 e o fluxo de ar Q é ajustado usando o gráfico da Figura 1.3 (Albright, 1990 e ASHRAE, 2017).

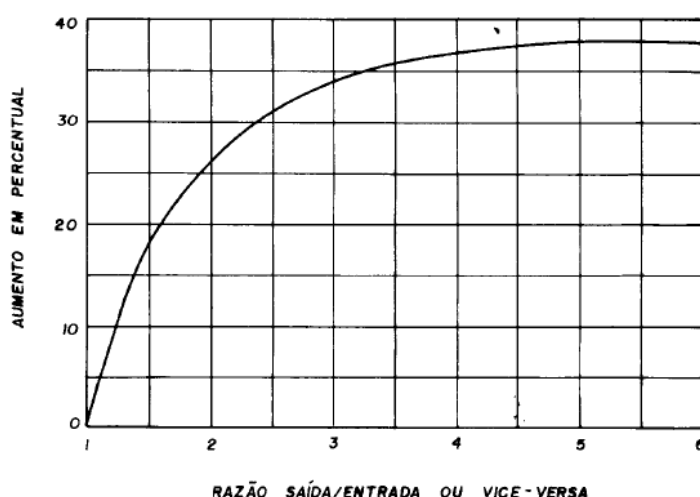


Figura 1.3 - Aumento no fluxo de ar, causado pela relação entre as áreas das aberturas de entrada e saída de ar.

Fonte: Baêta (1998).

Hellickson e Walker (1983) afirmam que, para a ventilação de instalações de criação de animais, o fluxo de ar requerido, geralmente é conhecido, embora isso possa não se basear em análises rigorosas de engenharia, como balanços de calor (Curtis, 1983, Albright, 1990 e ASHRAE, 2017), mas em regras práticas que são para regiões específicas e espécies (Donald, 2009). Neste caso é necessário para um bom projeto de sistema de ventilação, o dimensionamento adequado das áreas de abertura de entrada e saída de ar, que promovam esse fluxo. Para uma taxa de ventilação desejada, o dimensionamento adequado das áreas de entrada e saída de ar que promovem esse fluxo pode ser facilmente estimado a partir da Equação 1.4 se as áreas das aberturas de entrada e saída de ar forem iguais:

$$A = \frac{Q}{\theta} \times \left(\frac{T_i}{2 \times g \times h \times (T_i - T_e)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

Onde:

A – Área de abertura (m²); Q – Taxa de ventilação (m³/s); θ – Fator de redução (leva em consideração as perdas devido a fricção do ar contra a superfície interna, o resfriamento durante seu trajeto e a contração que ocorre na entrada, e varia entre 0,6 e 0,7); g – Aceleração da gravidade (m/s²); h – Diferença entre a altura da abertura de entrada e de saída de ar (m); T_i – Temperatura interna (K); T_e – Temperatura externa (K).

1.4 Ventilação Mecânica

Muitas vezes a ventilação natural não é suficiente para atender às exigências, tanto térmicas quanto higiênicas, em uma instalação de criação de animais. Como por exemplo, no caso observado por Menegalli et al. (2013), que compararam diferentes sistemas de ventilação mínima em instalações para a criação de pintos de corte: Ventilação mínima positiva – ventilador axial, posicionado na linha do forro, com fluxo no sentido vertical sobre defletor de 1,5 m de diâmetro; Ventilação mínima por pressão negativa – exaustor posicionado na face lateral do galpão, em antessala que antecede o ambiente de pinteiro, que era protegido por cortinas laterais; Ventilação mínima via natural – manejo de cortinas e também pela própria abertura das portas quando da entrada dos trabalhadores. Quando foi utilizada a ventilação natural, as médias de velocidade do ar no interior da instalação foram muito baixas, portanto insuficientes para promover a renovação mínima do ar através da instalação e garantir a qualidade do ar interno. Nesses casos onde a ventilação natural não é possível, ou é insuficiente, faz-se necessário à utilização da ventilação mecânica.

Tinôco (1998) cita as seguintes vantagens da utilização da ventilação mecânica: 1 – pode ser utilizada independentemente das condições do ambiente externo; 2 – possibilita o tratamento do ar (filtragem, umidificação, secagem, etc.); 3 – permite uma melhor distribuição do ar no interior da instalação.

Segundo Silva et al. (2015) a ventilação mecânica é promovida por equipamentos que demandam energia elétrica para o seu funcionamento, como exaustores e ventiladores. Curtis (1983) afirma que há dois sistemas principais de

ventilação mecânica: Pressão positiva, que consiste em um sistema que força o ar externo para dentro da instalação; e exaustão ou pressão negativa, onde o ar é forçado a sair da instalação, criando um vácuo parcial no interior da instalação, que faz com que o ar externo seja succionado para o interior da instalação, ocupando o lugar do ar que foi removido.

1.4.1 Ventilação Mecânica por Pressão Positiva

Nesse sistema de ventilação, com uso de ventiladores, o ar externo é insuflado para o interior da instalação, forçando a saída do ar interno (Damasceno et al. 2010). Segundo Tinôco (1998) esse sistema de ventilação é o mais comumente utilizado em instalações avícolas abertas.

De acordo com Souza et al. (2016a), nesse sistema de ventilação, os ventiladores podem ser dispostos no sentido transversal, o que permite gerar um fluxo do ar transversal, mantendo-se as cortinas do aviário abertas, ou podem ser dispostos no sentido longitudinal, com o fluxo do ar no sentido longitudinal e as cortinas do aviário fechadas. Quando o galpão estiver funcionando com as cortinas fechadas, esse manejo de ventilação é descrito como sistema de ventilação positiva em modo túnel.

Ferreira (2005) descreve que no sistema de ventilação positiva em fluxo transversal, ou cruzado, os ventiladores devem ser posicionados em uma das laterais dos aviários, observando o sentido dos ventos dominantes, e ligeiramente inclinados para o piso, porém sem direcionar o fluxo de ar diretamente para as aves. Isso faz com que o ar externo seja forçado lateralmente para o interior da instalação, ocupando o lugar do ar interno que é removido pela lateral oposta. O controle do fluxo de ar em galpões operando com sistema de ventilação positiva com fluxo transversal, se torna mais difícil, devido ao fato desses galpões serem abertos e sofrerem a interferência da ventilação natural, que não tem intensidade e nem direção constantes, o que prejudica o sistema (Abreu, 2014).

Outro modo de empregar a ventilação por pressão positiva é posicionando os ventiladores no sentido longitudinal. Segundo Ferreira (2005), esse manejo de ventilação, fornece uma maior uniformidade do fluxo de ar. Porém para o seu funcionamento a instalação deve ser fechada nas laterais, e assim o túnel formado no interior do galpão promove a entrada do ar em uma das extremidades e a sua

remoção na outra, fazendo com que a massa de ar percorra todo o espaço interior da instalação, removendo o calor gerado pelos animais para a parte externa do galpão.

Hellickson e Walker (1983), afirmam que, nos sistemas de ventilação com fluxo longitudinal (modo túnel), a distribuição do ar é controlada principalmente pela localização dos ventiladores e das aberturas de entrada e saída de ar, sendo recomendada uma área de abertura de 0,3 a 0,4 metros quadrados, para cada metro cúbico por segundo de capacidade dos ventiladores. Esse controle da ventilação por pressão positiva, segundo Abreu e Abreu (2000), é mais fácil no sistema em modo túnel do que no modo transversal (cruzado), já que neste caso como as laterais são vedadas, não há influência da ventilação natural sobre o sistema.

Ferreira (2005) destaca que no sistema de ventilação mecânica em modo túnel, a movimentação do ar em torno dos animais é capaz de reduzir a sensação térmica dos mesmos, pois aumenta sua dissipação de calor corporal por convecção e por evaporação. No entanto, nas primeiras semanas do ciclo produtivo, até o vigésimo primeiro dia de vida das aves, deve-se ter uma maior atenção ao manejo da ventilação em modo túnel, uma vez que as aves mais jovens sentem mais os efeitos do vento frio do que as mais velhas, sendo indicado nesse período o emprego apenas da ventilação mínima, visando somente o efeito higiênico da ventilação, evitando a influência direta do vento sobre os animais jovens (Aviagen, 2013).

Segundo Baêta (1998) ambos os manejos de ventilação por pressão positiva, tanto o transversal (fluxo cruzado) quanto o longitudinal (túnel), podem ser associados ao sistema de umidificação do ar. Esse sistema, acionado quando a temperatura do ar interno estiver acima de 28°C e a umidade relativa inferior a 80%, promove o resfriamento evaporativo do ar, que pode ser obtido por meio do processo de nebulização, ou ainda instalando painéis evaporativos na abertura de entrada de ar do galpão.

1.4.2 Ventilação Mecânica por Pressão Negativa

Nesse sistema de ventilação, com o uso de exaustores, o ar é “puxado” para fora da instalação, gerando um vácuo parcial no interior do galpão. A diferença de pressão entre o ambiente interno e externo provoca a sucção do ar externo para o interior da construção via as aberturas de entrada (Souza et al., 2016a). Quando o ar

interno é removido para fora da instalação, cria-se um vácuo parcial dentro do galpão. Devido à pressão negativa, o ar fresco externo é succionado uniformemente para o interior da instalação, e à medida que a pressão negativa aumenta consequentemente a velocidade do ar que está entrando no aviário também aumenta (Donald, 2009).

Silva et al. (2013) afirmam que este é o sistema de ventilação mais comumente utilizado em instalações para abrigo de animais de produção que dispõe de controle de ambiente, como incubatórios avícolas ou aviários climatizados, por exemplo. Abreu e Abreu (2000) descrevem o funcionamento do sistema de ventilação por pressão negativa da seguinte forma: os exaustores são posicionados em uma das extremidades do aviário, e as aberturas para a entrada de ar, são dispostas na extremidade oposta, fazendo com que o ar seja succionado de uma extremidade a outra do aviário. Esse sistema deve ser dimensionado para possibilitar uma renovação completa do ar do aviário por minuto, com a movimentação da massa de ar a uma velocidade de 2 a 2,5 metros por segundo.

A instalação deve ser muito bem vedada evitando infiltrações que possam vir a prejudicar a eficiência do sistema. Neste caso, com determinada frequência, deve-se então monitorar a pressão estática no interior da instalação, a fim de verificar a ocorrência de possíveis pontos de infiltração no aviário (Vieira, 2009).

A ventilação por pressão negativa em instalações avícolas pode ser empregada com diferentes configurações de exaustores e entradas de ar, compreendendo três modelos diferentes (COOB, 2008; Donald, 2009):

Ventilação mínima: Empregada nas primeiras semanas de criação das aves, ou em regiões de clima frio, visando apenas à renovação mínima do ar, sendo de caráter higiênico. Nessa configuração os exaustores são controlados por um temporizador cíclico, alternando períodos ligado e desligado, fazendo a renovação do ar, porém evitando oscilações bruscas no ambiente térmico interno do aviário. O número de entradas de ar e suas dimensões devem ser determinados de modo que permitam que a massa de ar entre com uma alta velocidade na instalação e seja direcionada para as partes mais elevada, se misturando com o ar quente, que se acumula nessas zonas antes de chegarem às aves, como pode ser visto na Figura 1.4.

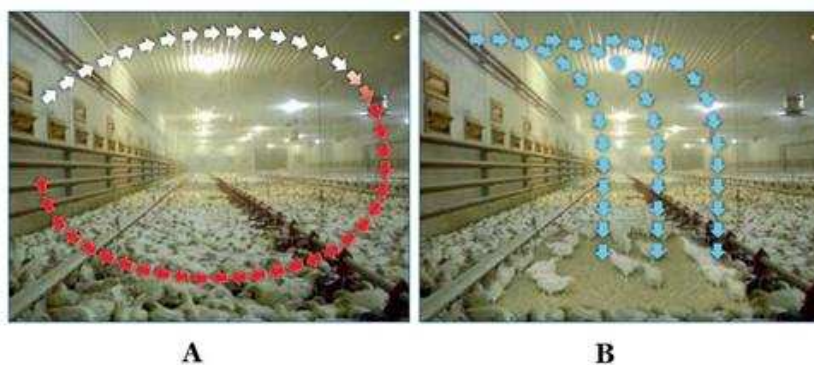


Figura 1.4 - Fluxo de ar no aviário durante a ventilação mínima. A: fluxo de ar correto, evitando que o ar frio incida diretamente sobre as aves; B: fluxo de ar incorreto, ar frio incidindo diretamente sobre as aves.

Fonte: Aviagen (2013)

Ventilação de transição: É um processo baseado na temperatura, no qual a medida que a temperatura interna na instalação atinja valores críticos, acima da faixa de conforto para as aves, o sistema de ventilação deve parar de funcionar no modo de ventilação mínima, com os exaustores controlados por meio de temporizadores de ciclo, e começar a ventilar, buscando o controle da temperatura. Assim como na ventilação mínima, na ventilação de transição, as entradas de ar, direcionam o fluxo de ar frio que entra na instalação, para as partes mais altas, para que se misture com o ar quente, que se encontra nessa região, antes de chegar efetivamente às aves. Nesse tipo de sistema de ventilação com os exaustores instalados na extremidade do galpão e as entradas de ar dispostas uniformemente em cada lateral, a velocidade máxima de movimentação da massa de ar entre as aves será de 25% da velocidade alcançada durante a ventilação no modo túnel, proporcionando um excelente controle de temperatura, com pequeno risco de resfriamento dos pintos.

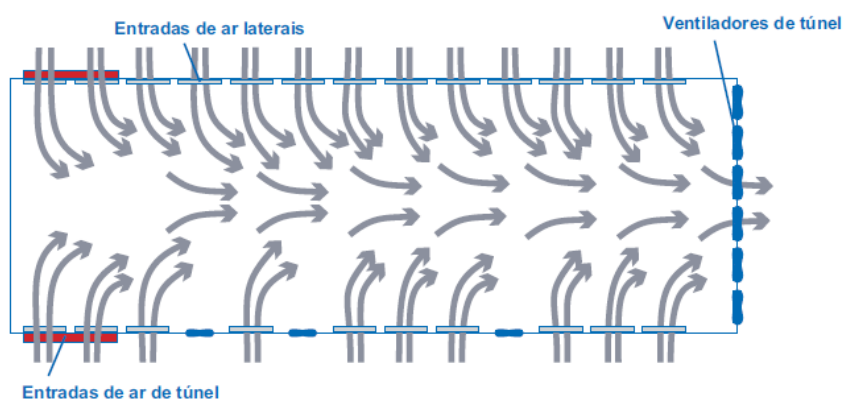


Figura 1.5 - Movimentação do ar no interior do aviário durante a ventilação de transição.
Fonte: Aviagen (2013)

Ventilação tipo túnel: Essa configuração do sistema de ventilação por pressão negativa deve ser empregada quando houver a necessidade de aumentar o fluxo de ar na instalação para remoção de calor. Nesse sistema os exaustores são posicionados em uma extremidade do galpão e as entradas de ar na extremidade oposta, fazendo com que o ar se desloque a uma velocidade de aproximadamente 2,5 m/s no sentido do comprimento do galpão, removendo calor, umidade, gases e poeira (Figura 1.6). Essa movimentação de ar frio no interior do galpão pode proporcionar uma redução na temperatura efetiva na ordem de 5 a 7°C.

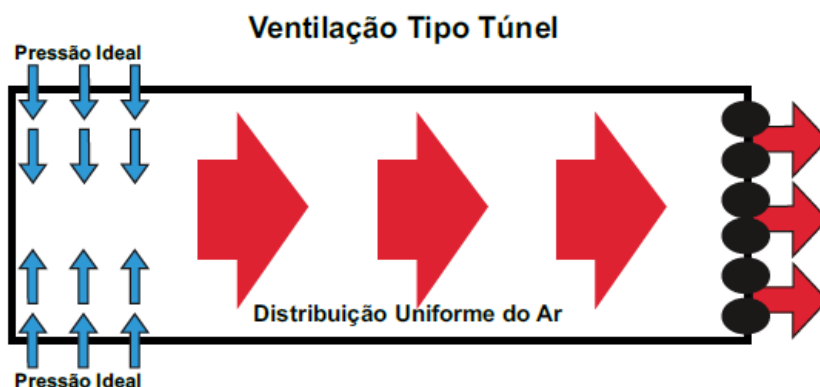


Figura 1.6 - Movimentação do ar no do galpão durante a ventilação por pressão negativa em modo túnel

Fonte: COOB (2008)

1.5 Ventilação Híbrida

Segundo Silva et al. (2012), apesar da grande evolução no sistema de produção avícola brasileiro nas últimas décadas, essa indústria ainda apresenta uma grande lacuna, uma vez que ainda é comum verificar alto desperdício de energia em vários processos ao longo da cadeia produtiva. A principal demanda de energia elétrica em uma instalação avícola está relacionada ao uso do sistema de climatização do galpão. Ceratto (2016) destaca que aproximadamente 80% do consumo de energia em uma granja comercial de frango de corte é destinada ao acondicionamento térmico do galpão, sendo que desse total, cerca de 60% é destinado ao sistema de ventilação.

Nesse sentido uma proposta para a manutenção do ambiente térmico propício para um bom desempenho das aves, porém reduzindo a demanda energética para o acionamento dos equipamentos de climatização, seria a utilização do sistema híbrido de ventilação. De acordo com Rupp e Ghisi (2013), nas instalações com o sistema híbrido de ventilação, a ventilação natural é integrada com o sistema mecânico de

ventilação, que é utilizado para resfriar e distribuir melhor o ar no interior da instalação em períodos críticos, quando a ventilação natural não é suficiente.

Nessas instalações manejadas com ventilação híbrida, a ventilação natural é promovida quando as condições climáticas do ambiente externo são favoráveis, ou seja, quando as condições de temperatura e umidade relativa do ar, estiverem dentro da faixa de conforto para as aves. Nestas condições, as cortinas laterais dos galpões são abertas e os exaustores são desligados, promovendo o fluxo natural do ar no interior da edificação. Caso as condições térmicas do ambiente externo não favoreçam a utilização da ventilação natural, as cortinas laterais são fechadas e o sistema de ventilação mecânico é acionado.

1.6 Conclusões

O uso correto de tecnologias, tais como aquelas associadas a sistemas modernos de ventilação, e equipamentos, como ventiladores e aspersores, bem como controles adequados na redução do estresse térmico por calor, é capaz de potencializar a produtividade dos animais, aumentando a lucratividade do sistema produtivo. No entanto, o sub ou superdimensionamento deve ser evitado, sob pena de, além de não proporcionar os níveis de conforto exigidos pelos animais, também acarretar em prejuízos financeiros ao produtor.

A escolha do sistema de ventilação (natural, mecânico ou híbrido) mais adequado, vai depender de uma série de critérios, tais como: características climáticas da região; disponibilidade e qualidade da mão de obra; capacidade já instalada de sistemas auxiliares; nível de automação desejada; disponibilidade de eletricidade para o acionamento dos controles; dentre outros.

Caso o produtor opte pela utilização de um sistema de ventilação mecânica, o adequado planejamento e dimensionamento do sistema deve abranger a escolha adequada dos equipamentos (ventiladores e exaustores), levando em consideração suas rotações, potências, vazão e rendimento, além da velocidade do ar requerida no interior da instalação visando o bem estar das aves.

1.7 Referências

- Abreu, P. G. Manejo de aviários abertos. In: **Seminário Internacinal de manejo y Sistemas Operativos en Pollo de Engorde** – AMEVEA, 2014, Bogotá – Colômbia. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122574/1/final7761.pdf>
- Abreu, V. M. N.; Abreu, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1-14, 2011.
- Abreu, P. G.; Abreu, V. M. N.; Coldebella, A.; Jaenisch, F. R. F.; Paiva, D. P. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.59, n.4, p.1014-1020, 2007.
- Abreu, P. G.; Abreu, V. M. N. Ventilação na avicultura de corte. Concórdia: **Comunicado Técnico Embrapa Suínos e Aves**, 2000. 50p. (Documentos, 63)
- Albright, L.D. **Environment Control for Animals and Plants**. St. Joseph: ASAE, 1990, 354p.
- ASHRAE (Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **Ventilation and Infiltration**. In: ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 16. 2017.
- Aviagen, **Manual de manejo de matrizes Ross**. 2013. 180p. Disponível em: http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/RossPSHandbook2013PT.pdf
- Baêta, F. C. Sistemas de ventilação natural e artificial na criação de aves. In: **Simpósio Internacional sobre Ambiência e Sistemas de Produção Avícola**, 1998, Campinas, SP. Anais... Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1998. p.96-117.
- Baêta, F.C.; Souza, C. F. **Ambiência em Edificações Rurais: Conforto animal**. 2ª Ed. Viçosa – MG. Ed. UFV, 2010, 269p.
- Bueno, L.; Rossi, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos de corte quanto à energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.497 – 504. 2006.

Ceratto, V. Custo de energia das granjas – O item de maior custo de produção para os integrados da avicultura de corte. **Avicultura Industrial**. 2016. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/custo-de-energia-das-granjas-o-item-de-maior-custo-de-producao-para-os/20160516-095510-c801>

COBB. **Manual de manejo de frangos de corte Cobb**. 2008. 70p. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/avicultura/files/2012/04/Cobb-Manual-Frango-Corte-BR.pdf>

Coelho, D. J. de R., Tinôco, I. F. F., Vieira, M. F. A., Mendes, M. A. dos S. A., Sousa, F. C de., França, L. G. F. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.10, p.996 – 1004. 2015.

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.

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

Damasceno, F. A.; Schiassi, L.; Saraz, J. A. O.; Gomes, R. C. C.; Baêta, F. C. Concepções arquitetônicas das instalações utilizadas para a produção avícola visando o conforto térmico em climas tropicais e subtropicais. **PUBVET**, Londrina, v.4, n.42, 2010.

Donald, J. O. **Manejo del ambiente en el galpón de pollo de engorde**. 2009. 44p. Disponível em: http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Aviagen-Manejo-Ambiente-Galpón-Pollo-Engorde-2009.pdf

Fernandes, T. Conforto térmico em aviários de frango de corte colonial em diferentes tipologias construtivas. Cuiabá: Unic, 2017. **Dissertação (Ciências Ambientais)**. Universidade de Cuiabá, 2017. 114p.

Ferreira, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. 1ª Ed. Viçosa – MG. Ed. Aprenda Fácil, 2005, 371p.

Hellickson, M. A.; Walker J. M. **Ventilation of Agricultural Structures**. ASAE Publishing, St. Joseph, MI, USA, 1983, 372p.

Jiang, Y.; Alexander, D.; Jenkins, H.; Arthur, R.; Chen, Q. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large-eddy

simulation. **Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, n. 91, p. 331-353, 2003.

Mendes, M. A. dos S. A. Caracterização do ambiente térmico de aviários de postura, em sistemas verticais, ventilados naturalmente e por pressão negativa em modo túnel. Viçosa: UFV, 2015. **Tese (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2015.

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

Paula, M. O. Isolamento térmico de aviários e seus efeitos na qualidade do ar interior, consumo de energia e desempenho produtivo de frangos de corte. Viçosa: UFV, 2009. **Tese (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2009.

Paula, M. O.; Caetano, S. P.; Moreira, G. R.; Amorim, M. M.; Duran, M. C. Identificação da tipologia construtiva de galpões avícolas no estado do Espírito Santo. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14; p.641 – 653, 2012.

Rivero, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D. C. Luzzatto Editores, 1986, 239p.

Rupp, R. F.; Ghisi, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 75-86, 2013.

Silva, E. C da.; Pintro, T. C.; Bicchoff, T. Z.; Paloschi, C. L.; Siqueira, J. A. C.; Nogueira, C. E. C. Diagnóstico energético em aviários de frango de corte. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.5, n.2, p.104-112. 2012.

Silva, E. G.; Santos, A. C.; Ferreira, C. L. S.; Souza, J. P. L.; Rocha, J. M. L.; Silveira Júnior, O. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v. 14, n. 1, p. 132-141, 2013.

Silva, T. P. N., Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Almeida, G. L. P.; Gomes, N. F. Tipologia de instalações avícolas na região agreste de Pernambuco. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p. 789-799, 2015.

Souza, C. F.; Baêta, F. C.; Tinôco, I. F. F.; Teles Junior, C. G. S.; Vilela, M. O.; Oliveira, K. P. Acondicionamento térmico artificial de instalações para produção animal no Brasil. **Animal Business Brasil**, v.30, p.40 -44. 2016a.

Souza, C. F.; Baêta, F. C.; Tinôco, I. F. F.; Oliveira, K. P. Acondicionamento térmico natural de instalações para produção animal no Brasil. **Animal Business Brasil**, v.28, p.34 -42. 2016b.

Tinôco, I. F. F. Critérios para o planejamento de instalações avícolas para aves de postura. In: **Simpósio Internacional sobre Ambiência e Sistemas de Produção Avícola**, 1998, Campinas, SP. Anais... Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1998. p.57-72.

Tinôco, I. F. F. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Rev. Bras. Cienc. Avic.**, vol.3, n.1, p.01-26, 2001.

Vieira, N. P. Conceitos de aviários "Pressão Negativa". **Circular Técnica: Aviagen Brasil**, 2009. Disponível em:

http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Portuguese/junho2009-conceitosdeaviariospressaonegativa.pdf

CAPÍTULO II

Caracterização do ambiente térmico em aviários com diferentes sistemas de climatização

Resumo: Objetivou-se com a presente pesquisa, caracterizar o ambiente térmico no interior de aviários, com base na diferença entre a temperatura observada e a recomendada para o conforto, em diferentes estágios do ciclo produtivo de frangos de corte, manejados com diferentes sistemas de climatização, durante três específicas estações climáticas do ano. O experimento foi conduzido em uma granja comercial de frangos de corte localizada no município de Ervália – Minas Gerais, composta por dois aviários similares, sem isolamento térmico e posicionados lado a lado, com capacidade para 30000 aves/ciclo cada, ambos alojamentos mantidos fechados e com os sistemas de climatização funcionando em 100% do tempo, sendo um deles climatizado com sistema de aquecimento automático e sistema de ventilação negativa em modo túnel associado a resfriamento adiabático evaporativo, com painéis de celulose, e outro, com sistema de aquecimento manual e sistema de ventilação negativa em modo túnel associado a resfriamento adiabático evaporativo, composto por 16 linhas de nebulizadores. Foram considerados três ciclos experimentais, sendo um no inverno, um na primavera e outro no verão. Considerando a faixa de conforto térmico para frangos de corte na fase de aquecimento adotada no presente estudo verificou-se que em grande parte do tempo avaliado, a temperatura média horária registrada na zona de ocupação das aves, esteve acima do limite superior da faixa de valores de conforto para frangos de corte nessa idade, durante praticamente todo período avaliado, mostrando que é possível o produtor adaptar o manejo do seu sistema de aquecimento para trabalhar com faixas de temperatura mais amenas visando reduzir os custos de aquecimento. Na fase de pós-aquecimento, verificou-se que nos ciclos experimentais avaliados durante o inverno e a primavera, as temperaturas médias horárias registradas no interior de ambos os aviários estudados, estavam dentro da faixa de conforto, enquanto que no verão, verificou-se a ocorrência de períodos com temperatura acima do limite superior da faixa de valores de conforto em ambos os aviários estudados, especialmente no período onde as condições de temperatura externa estavam mais elevadas (12 a 18 horas). O gradiente de temperatura verificado ao

longo de ambos os aviários estudados durante a fase de pós-aquecimento ficou acima do limite tolerável.

Palavras-chaves: Aquecimento, avicultura, conforto térmico, instalações, resfriamento.

Abstract: The objective of this research was to characterize the thermal environment inside poultry houses, based on the difference between the observed temperature and the recommended temperature for the comfort, in different stages of the broiler productive cycle, managed with different climate systems, during three climate seasons of the year. The experiment was carried out in a commercial broiler farm located in the municipality of Ervália - Minas Gerais, composed of two aviaries with a capacity of 30000 broilers/cycle each, both barns kept closed and with the thermal conditioning systems running in 100% of the time, one being thermal conditioning systems with automatic heating system and tunnel negative ventilation system associated with evaporative cooling, with cellulose panels, and another, with manual heating system and tunnel negative ventilation system associated with evaporative adiabatic cooling, consisting of 16 lines of nebulizers. Were considered three experimental cycles, being one in winter, one in spring and one in summer. Considering the thermal comfort range for broilers in the brooding phase adopted in the present study it was found that in most of the evaluated time, the average hourly temperature recorded in the bird occupation zone was above the upper limit of the range of comfort for broilers at this age, showing that it is possible for the broiler farmer to adapt the management of his heating system to work with milder temperature ranges to reduce heating costs. In the growout phase, it was found that in the experimental cycles evaluated during winter and spring, the average hourly temperatures recorded inside both poultry houses were within the comfort range, while in summer, it was verified the occurrence of periods with temperature above the upper limit of the range of comfort values in both poultry houses studied, especially in the period when the external temperature conditions were higher (12 to 18 hours). The temperature gradient observed over both poultry houses studied during the growout phase was above the tolerable limit.

Keywords: Cooling, heating, facilities, poultry industry, thermal comfort.

2.1 Introdução

A indústria avícola brasileira é atualmente uma das mais desenvolvidas do mundo e apresenta constante crescimento nos últimos anos graças aos avanços nas áreas de genética, nutrição e saúde animal, bem como da modernização das instalações de criação. O projeto moderno e eficiente de instalações animais leva em consideração as questões relacionadas à ambiência e ao bem-estar dos animais, com vistas ao adequado manejo da produção (Schmidt e Silva, 2018).

Santos et al. (2017) afirmam que esses avanços na área de genética e melhoramento, resultaram em um melhor desempenho produtivo das aves, proporcionando uma melhora significativa no que se refere ao ganho de peso ao longo das últimas décadas. Porém, esse processo tem também uma consequência adversa ao sistema produtivo, uma vez que a evolução no ganho de peso dos animais dificulta as suas trocas térmicas com o ambiente, aumentando a necessidade de uso de sistemas de climatização em dias com temperaturas mais elevadas.

Para minimizar os efeitos do estresse térmico sobre os animais, são utilizados alguns sistemas de acondicionamento térmico que visam tornar as condições térmicas do ambiente onde as aves estão inseridas mais confortáveis para o seu desenvolvimento (Mascarenhas et al., 2018). Bueno e Rossi (2016) consideram como instalações climatizadas, aquelas dotadas de equipamentos de ventilação, exaustão, nebulização e painéis de resfriamento evaporativo, cujo objetivo é atingir o conforto térmico no interior do galpão independentemente da condição do clima externo.

Tendo em vista a importância desses sistemas de climatização para atenuar os efeitos do ambiente térmico sobre os animais, é de fundamental importância o correto dimensionamento e a adequada instalação (Santos et al., 2009). Nesse sentido, de acordo com Curi et al. (2014), o conhecimento da variação dos fatores térmicos, em especial, temperatura e umidade relativa do ar, no interior das instalações de criação dos animais, é essencial para auxiliar no dimensionamento e manejo do sistema de climatização adotado.

Com base no exposto, objetivou-se com a presente pesquisa caracterizar o ambiente térmico no interior de dois aviários similares, típicos da avicultura de corte do Brasil, ambos alojamentos mantidos fechados e com sistemas de climatização

funcionando ininterruptamente. Um alojamento foi climatizado com sistema de aquecimento automático e sistema de ventilação negativa em modo túnel associado a resfriamento adiabático evaporativo com painéis de celulose, e o outro, com sistema de aquecimento manual e sistema de ventilação negativa em modo túnel associado a resfriamento adiabático evaporativo composto por linhas de nebulizadores. A caracterização dos aviários foi realizada com base na relação entre as temperaturas médias horárias observadas no interior dos aviários e as recomendadas para o conforto das aves em diferentes estágios do ciclo produtivo de frangos de corte, durante três específicas estações climáticas do ano.

2.2 Metodologia

O experimento foi conduzido em uma granja comercial de frangos de corte localizada no município de Ervália – Minas Gerais, situado na Zona da Mata Mineira, apresentando altitude média de 730 metros e clima subtropical de altitude Cwa, em três lotes experimentais, sendo um no inverno, um na primavera e outro no verão, correspondendo ao período mais frio, ao período de transição e ao período mais quente do ano, respectivamente.

A granja é composta por dois aviários com capacidade para 30000 aves/ciclo cada, apresentando as seguintes características construtivas: 12 metros de largura por 145 metros de comprimento e pé-direito de 3 metros; cobertura com telha de fibrocimento e forro de poliuretano; fechamento em alvenaria nas cabeceiras e fechamento lateral com cortinas de poliuretano. Cada galpão também é equipado com sistema automático de distribuição de ração e bebedouros do tipo nipple.

O manejo do ambiente térmico nos aviários é dividido em fase de aquecimento, que compreende os 15 a 18 primeiros dias de vida das aves e a fase de pós-aquecimento, que compreende o período do fim do aquecimento até o abate, que se dá entre o 42° e 45° dia de vida das aves. As características do sistema de climatização utilizado em cada um dos aviários estudados estão descritas abaixo.

- **Aviário Ventilação por Pressão Negativa mais Painel Evaporativo (VPNPE):** Sistema de ventilação por pressão negativa, tipo túnel, com 8 exaustores de 50 polegadas com cone direcionador de ar e motor com potência de 1,5cv, divididos em 4 grupos de acionamento com 2 exaustores em cada grupo. Resfriamento adiabático evaporativo realizado por meio de painéis evaporativos de

placa de celulose, instalados na entrada de ar. Sistema de aquecimento composto por uma fornalha com alimentação automática de aparas de madeira, instalada em área externa anexa ao galpão. A distribuição do ar quente para o interior do galpão foi feita por meio de tubos perfurados de poliuretano.

- **Aviário Ventilação por Pressão Negativa mais Nebulizadores (VPNN):** Sistema de ventilação por pressão negativa, tipo túnel, com 8 exaustores de 50 polegadas com cone direcionador de ar e motor com potência de 1,0cv, divididos em 4 grupos de acionamento com 2 exaustores em cada grupo. Resfriamento evaporativo realizado por meio de nebulizadores instalados em 16 linhas com 8 nebulizadores cada, distribuídas uniformemente no interior do aviário. O sistema de aquecimento é composto por uma fornalha com alimentação manual de lenha, instalada em área externa anexa ao galpão. A distribuição do ar quente para o interior do galpão foi realizada por meio de tubos perfurados de poliuretano.

O controle dos sistemas de acondicionamento térmico foi conduzido de acordo com o praticado pela empresa, conforme mostrado nas Tabelas 2.1 a 2.4, e os grupos de ativação dos exaustores em ambos os aviários foram divididos de acordo com o esquema mostrado na Figura 2.1.

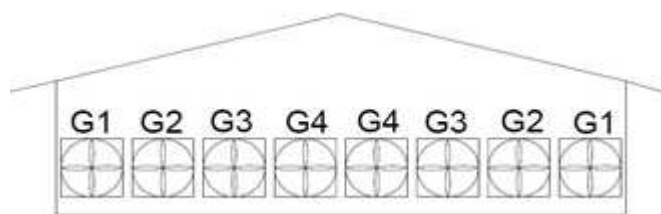


Figura 2.1 – Disposição dos grupos de acionamento dos exaustores nos aviários estudados

Tabela 2.1 – *Setpoint* (temperaturas do ambiente interno, em °C) de acionamento da fornalha de aquecimento em função da idade das aves

| Idade (dias) | Liga | Histerese | Desliga |
|--------------|------|-----------|---------|
| 1 - 3 | 32°C | 1°C | 33°C |
| 4 - 7 | 30°C | 1°C | 31°C |
| 8 - 11 | 28°C | 1°C | 29°C |
| 12 - 15 | 27°C | 1°C | 28°C |
| 16 - 19 | 26°C | 1°C | 27°C |

Tabela 2.2 – *Setpoints* (temperaturas do ambiente interno, em °C) para acionamento dos grupos de exaustores, ao longo do período de produção das aves.

| Idade das aves (dias) | 1º Grupo de exaustores | | 2º Grupo de exaustores | | 3º Grupo de exaustores | | 4º Grupo de exaustores | |
|-----------------------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|---------|
| | Liga | Desliga | Liga | Desliga | Liga | Desliga | Liga | Desliga |
| 1 – 3 | 32 | 31,5 | 33 | 32,5 | 34 | 33,5 | 35 | 34,5 |
| 4 – 7 | 30 | 29,5 | 31 | 30,5 | 32 | 31,5 | 33 | 32,5 |
| 8 – 11 | 29 | 28,5 | 30 | 29,5 | 31 | 30,5 | 32 | 31,5 |
| 12 – 15 | 28 | 27,5 | 29 | 28,5 | 30 | 29,5 | 31 | 30,5 |
| 16 – 19 | 27 | 26,5 | 28 | 27,5 | 29 | 28,5 | 30 | 29,5 |
| 20 – 23 | M | M | 27 | 26,5 | 28 | 27,5 | 29 | 28,5 |
| 24 – 27 | M | M | 26 | 25,5 | 27 | 26,5 | 28 | 27,5 |
| 28 – 31 | M | M | M | M | 26 | 25,5 | 27 | 26,5 |
| 32 – 35 | M | M | M | M | 25 | 24,5 | 26 | 25,5 |
| 36 – 39 | M | M | M | M | M | M | 25 | 24,5 |
| 40 – 43 | M | M | M | M | M | M | 23 | 22,5 |
| 44 – abate | M | M | M | M | M | M | 21 | 20,5 |

M – Modo Manual: Indica que os exaustores desses grupos devem estar continuamente ligados

Tabela 2.3 – Manejo da ventilação mínima. (Tempo de liga/desliga durante o dia, e quantidade de exaustores), para condições específicas da cama, ao longo do primeiro período de produção das aves.

| Cama nova | | | |
|-----------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Idade das aves (dias) | Quant. exaustores | Tempo ligado (s) | Tempo desligado (s) |
| 1 – 3 | 2 | 60 | 240 |
| 4 – 7 | 2 | 75 | 225 |
| 8 – 11 | 2 | 90 | 210 |
| 12 – 15 | 2 | 105 | 195 |
| 12 – 19 | 2 | 120 | 180 |
| Reuso de cama | | | |
| 1 – 3 | 2 | 60 | 180 |
| 4 – 7 | 2 | 75 | 165 |
| 8 – 11 | 2 | 90 | 150 |
| 12 – 15 | 2 | 105 | 135 |
| 12 – 19 | 2 | 120 | 120 |

Tabela 2.4 – *Setpoints* (temperaturas do ambiente interno, em °C e valor máximo de umidade relativa, em %) para acionamento do sistema de resfriamento evaporativo, ao longo do período de produção das aves.

| Idade das aves (dias) | Liga | Desliga | Umidade Relativa* |
|-----------------------|------|---------|-------------------|
| 1 – 3 | 36 | 35,5 | 80 |
| 4 – 7 | 34 | 33,5 | 80 |
| 8 – 11 | 33 | 32,5 | 80 |
| 12 – 15 | 32 | 31,5 | 80 |
| 16 – 19 | 32 | 30,5 | 80 |
| 20 – 23 | 30 | 29,5 | 80 |
| 24 – 27 | 29 | 28,5 | 80 |
| 28 – 31 | 28 | 27,5 | 80 |
| 32 – 35 | 27 | 26,5 | 80 |
| 36 – 39 | 26 | 25,5 | 80 |
| 40 – 43 | 25 | 24,5 | 80 |
| 44 – abate | 24 | 23,5 | 80 |

* Se a Umidade Relativa no interior do galpão estiver acima de 80% o sistema não é ligado.

O ambiente térmico no interior de cada aviário estudado foi caracterizado com base na diferença entre a temperatura observada e a temperatura recomendada para o conforto térmico das aves nos diferentes estágios do seu ciclo produtivo. Levou-se em consideração como condição térmica ideal para o conforto térmico das aves na fase de aquecimento, a faixa de valores médios de temperatura descritos por Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016), que correspondem a: temperatura de 27 a 30°C na primeira semana de vida das aves; temperatura de 24 a 27°C na segunda semana; e temperatura de 21 a 24°C na terceira semana. Já para a fase de pós-aquecimento, que compreende a fase final do ciclo produtivo (4^a – 6^a semanas), foi considerado como ideal para o conforto térmico das aves valores de temperatura na faixa de 15 a 27°C de acordo com as recomendações de Tinôco (2001) e Medeiros (2001).

Na fase de aquecimento, as variáveis térmicas utilizadas como base para a análise do ambiente no interior dos aviários foram coletadas na altura das aves a aproximadamente 50 cm acima do nível do piso, em diversos pontos na zona de

ocupação dos animais. O número de pontos de coleta de dados (temperatura e umidade), durante as três semanas da fase de aquecimento, variou em função do aumento da zona de ocupação das aves, que se deu gradativamente conforme mostrado na Figura 2.2.

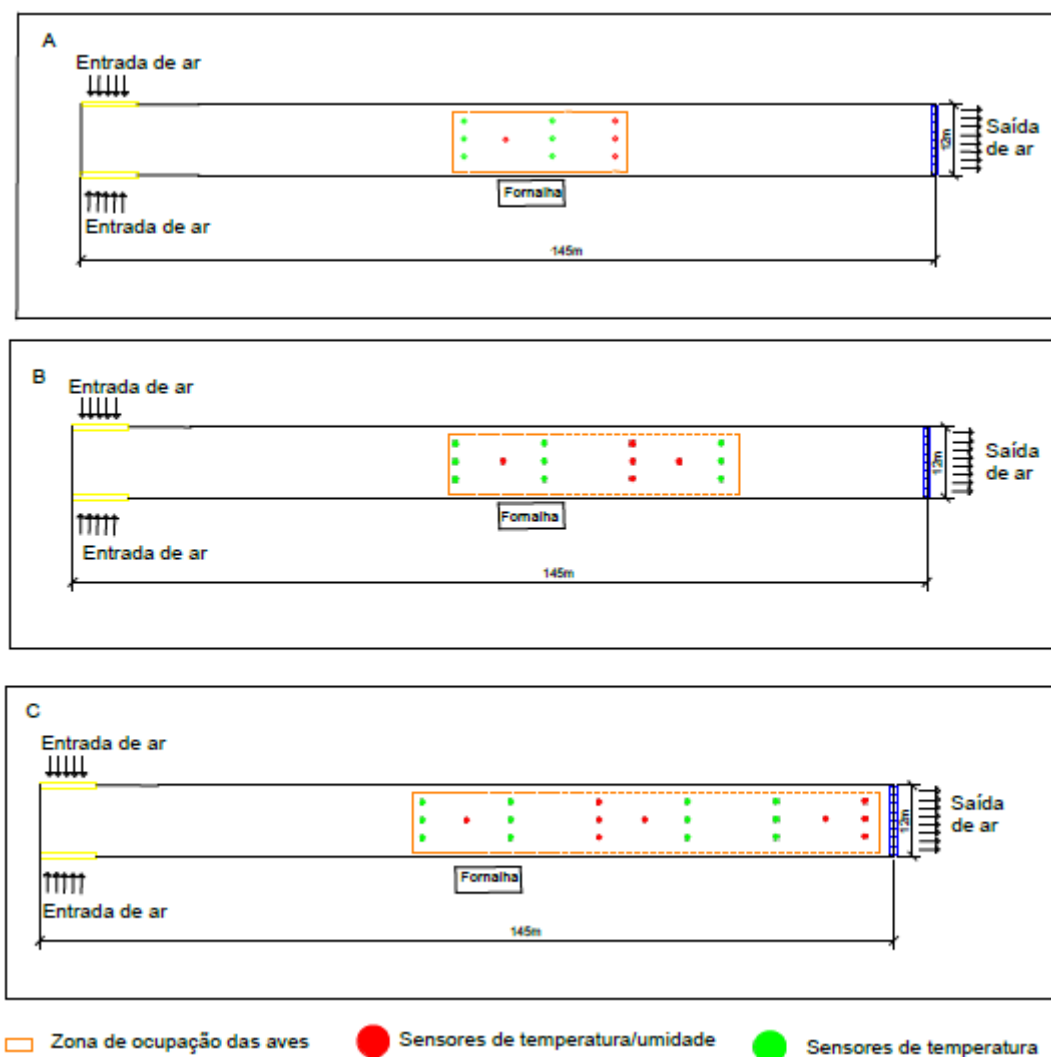


Figura 2.2 – Disposição dos sensores de temperatura e temperatura/umidade relativa na zona de ocupação das aves, durante a fase de aquecimento: [A] Semana 1; [B] Semana 2; [C] Semana 3.

Na fase de pós-aquecimento os aviários estudados foram divididos em três regiões (entrada de ar; região central; saída de ar), e as variáveis climáticas de interesse (temperatura e umidade relativa do ar) foram registradas em diversos pontos nessas regiões, na altura das aves, ou seja, a 50 cm acima do nível do piso, conforme mostrado na Figura 2.3.

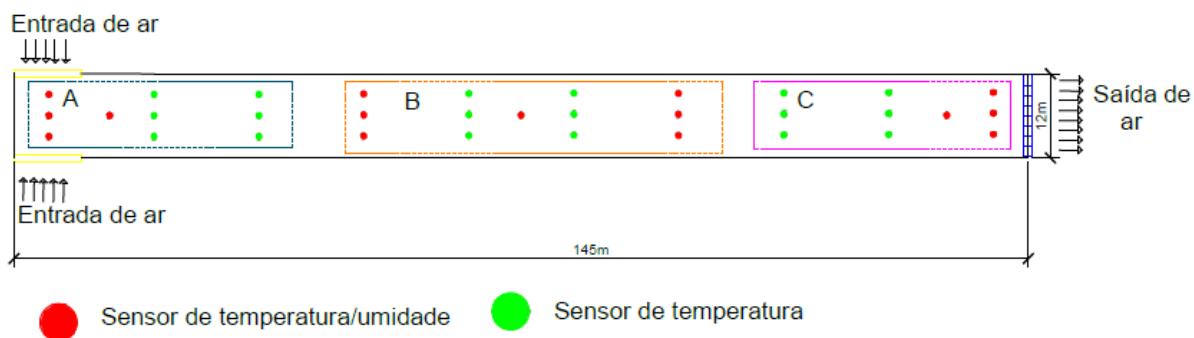


Figura 2.3 – Disposição dos sensores de temperatura e temperatura/umidade relativa, durante a fase de pós-aquecimento na: [A] Entrada de ar; [B] Região central; [C] Saída de ar.

Os sensores de temperatura/umidade relativa utilizados foram do modelo DHT22, (digital, da família DHT), com acurácia de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para a temperatura e $\pm 2\%$ para umidade relativa, e resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ para temperatura e $0,1\%$ para umidade relativa. Já os sensores de temperatura utilizados foram do modelo DS18B20, (digital) com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e resolução ajustável, cuja comunicação com o sistema de aquisição de dados foi feita por meio do protocolo de comunicação One-Wire.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram gravados a cada intervalo de um minuto durante todo o ciclo de produção das aves, totalizando 42 dias em cada um dos ciclos experimentais avaliados (estação fria, estação de transição e estação quente).

Além dos dados referentes às condições térmicas do ambiente interno dos aviários estudados, para cada ciclo experimental, foram coletados também dados de temperatura e umidade relativa do ar do ambiente externo aos galpões. Foi utilizado um datalogger de temperatura e umidade Hobo[®] modelo U14-001, protegido da radiação solar direta, alocado em um abrigo meteorológico instalado na área externa próxima aos aviários. Esses dados foram utilizados para a caracterização climática da região onde os galpões avícolas estão alocados.

2.3 Resultados e discussão

O experimento foi conduzido em três ciclos experimentais, sendo estes caracterizados com base nas condições climáticas da região onde os aviários estavam alocados, como estação fria (inverno), estação de transição (primavera) e

estação quente (verão). A variação horária das condições térmicas da região de estudo nas três estações experimentais consideradas está descrita na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Valores máximo, mínimo, médio \pm desvio padrão dos dados horários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%), verificados no abrigo meteorológico instalado na área externa próxima aos aviários nas três estações climáticas avaliadas.

| | Período avaliado | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|------|-----------------|-----------|------|----------------|-------|------|----------------|
| | Inverno | | | Primavera | | | Verão | | |
| | Max | Min | Média | Max | Min | Média | Max | Min | Média |
| Temperatura do ar | 26,3 | 8,7 | 16,6 \pm 4,8 | 27,5 | 13,2 | 20,5 \pm 3,7 | 30,4 | 15,9 | 21,4 \pm 3,8 |
| Umidade relativa do ar | 93,8 | 52,9 | 79,3 \pm 11,6 | 81,6 | 56,9 | 73,3 \pm 6,9 | 83,3 | 54,4 | 74,3 \pm 6,7 |

Como esperado, observa-se na Tabela 2.5 que os menores valores médios e extremos de temperatura média horária (máxima e mínima) correspondem ao inverno, e os maiores valores foram observados durante a estação quente (verão), enquanto os valores intermediários na estação de transição (primavera). A diferença entre as temperaturas médias horárias registradas na região durante o inverno e o verão foi de 4,8 $^{\circ}\text{C}$, demonstrando que os equipamentos de aquecimento tendem a ser mais exigidos no inverno para adaptar as condições térmicas internas do galpão para o conforto das aves, enquanto que os sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo serão mais exigidos no verão, principalmente durante a fase de pós-aquecimento.

2.3.1 Fase de aquecimento

A relação entre a temperatura média horária observada no interior dos aviários estudados, na zona de ocupação das aves, a temperatura média horária observada no abrigo meteorológico instalado na área anexa aos galpões, e a temperatura recomendada como ideal (baseada nas recomendações de Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016)) para o conforto térmico das aves durante a fase de aquecimento (três primeiras semanas de vida das aves), nos três ciclos avaliados (inverno, primavera e verão) pode ser vista na Figura 2.4.

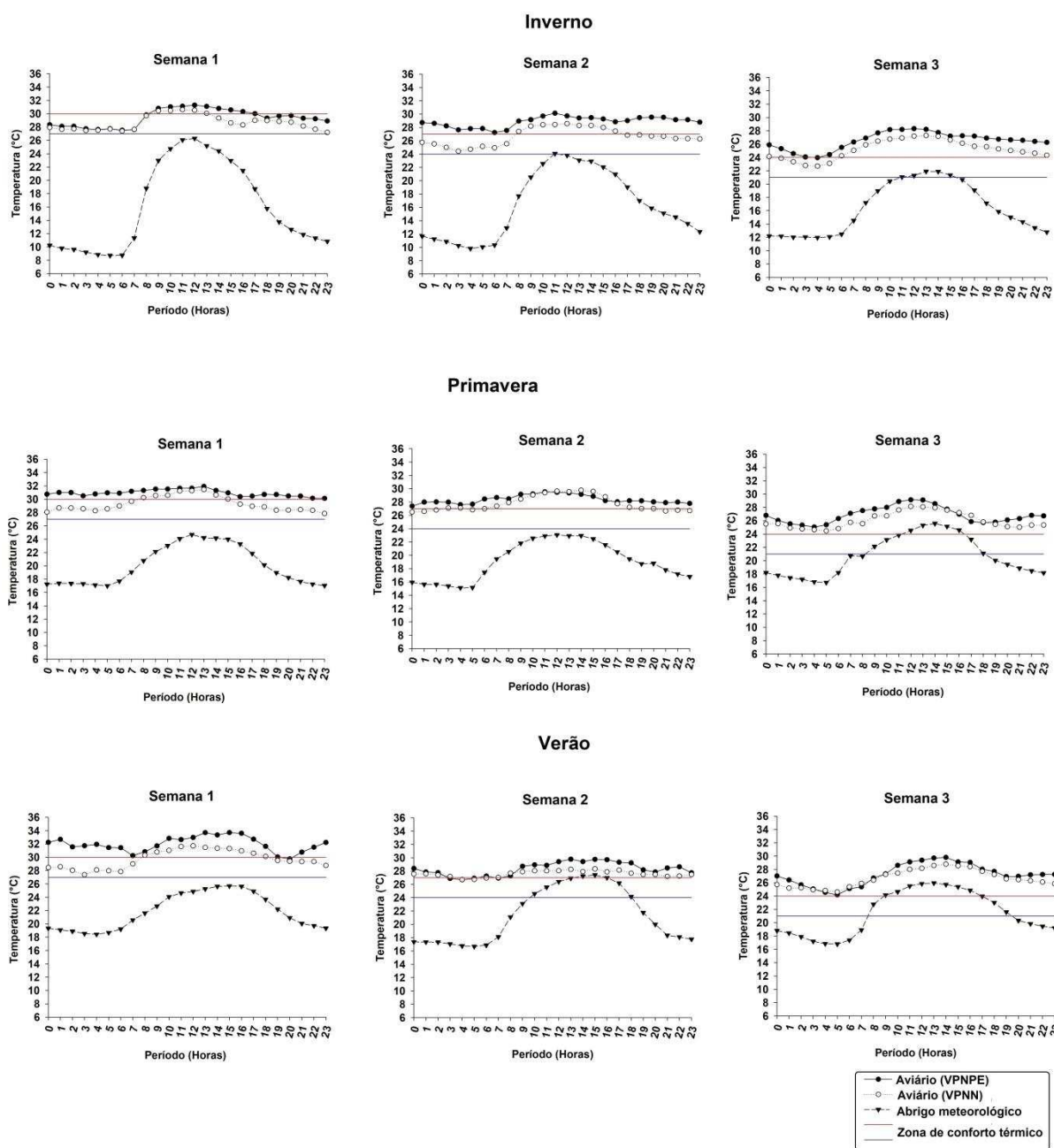


Figura 2.4 – Relação entre a temperatura média horária observada na zona de ocupação das aves, com a temperatura média horária registrada no abrigo meteorológico e com a faixa de valores temperatura recomendada por Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016) para o conforto térmico das aves em cada uma das três semanas da fase de aquecimento durante os três ciclos experimentais avaliados.

Observa-se na Figura 2.4 que no ciclo experimental avaliado durante o inverno, as temperaturas médias horárias registradas na zona de ocupação das aves em ambos os aviários estudados, durante a primeira semana da fase de aquecimento permaneceu a maior parte do tempo dentro da zona definida como condição de conforto para as aves nessa idade. Considerando a faixa de temperatura de conforto para as aves na segunda e terceira semanas da fase de aquecimento, observa-se

que a temperatura média horária, registrada na zona de ocupação das aves, em ambos os aviários estudados durante o ciclo experimental avaliado no inverno, ficou acima do limite superior da faixa de valores de conforto térmico na maior parte do tempo avaliado. Nos ciclos experimentais avaliados na primavera e no verão, observa-se que a temperatura média horária registrada na zona de ocupação das aves ficou acima do limite superior da faixa de conforto térmico na maior parte do tempo avaliado, principalmente a partir da segunda semana da fase de aquecimento e no Aviário (VPNPE).

A faixa de valores de temperatura tradicionalmente recomendada na literatura como ideal para o conforto térmico de frangos de corte na fase de aquecimento varia entre 32 e 34°C na primeira semana de vida das aves, entre 28 e 32 °C na segunda semana e entre 26 e 28°C na terceira semana (Macari et al., 2004; Medeiros et al., 2005; Oliveira et al., 2006; Abreu e Abreu, 2011). Segundo o manual da linhagem alojada, essa faixa varia entre 30 e 33°C na primeira semana de vida das aves, 29 e 31°C na segunda semana e entre 27 e 29°C na terceira semana (Hubbard, 2016).

Se considerarmos esses valores tradicionalmente descritos na literatura como referência, verifica-se que durante a fase de aquecimento, em todos os ciclos experimentais avaliados, houve períodos onde a temperatura média horária, registrada na zona de ocupação das aves, esteve abaixo do limite mínimo da faixa de conforto. Esses valores abaixo do limite mínimo da zona de conforto térmico da aves foram verificados principalmente nas primeiras horas do dia, com maior frequência na primeira semana da fase de aquecimento e no Aviário (VPNN).

Apesar dos valores da faixa de conforto térmico para frangos de corte, na fase de aquecimento, comumente utilizados na avicultura brasileira serem os valores tradicionalmente descritos na literatura, Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016) mostraram em seus estudos que os frangos de corte na fase inicial do ciclo produtivo toleram temperaturas menores que as tradicionalmente utilizadas, sem comprometer o seu desempenho zootécnico. Outro estudo que corrobora para mostrar que os frangos de corte podem tolerar temperaturas mais baixas que as tradicionalmente empregadas na fase de aquecimento, é o apresentado por Schiassi et al. (2015). Neste estudo os pesquisadores avaliaram os padrões comportamentais de frangos de corte na fase inicial, submetidos a diferentes condições térmicas, e verificaram que nas condições de 33 e 30°C para a primeira e segunda semana de vida das aves respectivamente (valores tradicionalmente constados na literatura como

referência para o conforto térmico para as aves nessa idade), os animais apresentaram comportamentos típicos de desconforto por calor, como aumento da presença no bebedouro e redução da presença no comedouro.

De acordo com Leva et al. (2006), uma das maiores dificuldades da avicultura industrial, consiste na manutenção da temperatura adequada à criação dos animais na fase inicial do ciclo produtivo (três primeiras semanas de vida). Nesse período os animais precisam de temperaturas mais elevadas e as temperaturas comumente verificadas no Brasil se encontram abaixo das condições ideais, obrigando o avicultor a fornecer fonte de aquecimento suplementar para as aves. Ceratto (2016) destaca que o aquecimento dos aviários corresponde a aproximadamente 11% do custo operacional de uma granja para frangos de corte.

Considerando que o aquecimento do aviário representa uma parcela significativa dos custos operacionais em uma granja de frangos de corte, a atualização dos valores de temperatura padrão para a recomendação do aquecimento da instalação, com base nos resultados obtidos por Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016), pode representar uma melhoria na composição final do custo de produção dos avicultores brasileiros.

Baseado nos dados obtidos na presente pesquisa, observa-se que na instalação estudada, o avicultor trabalha levando em consideração para o aquecimento dos aviários os valores de temperatura tradicionalmente recomendados na literatura. No entanto, observa-se que esses valores na maior parte do tempo avaliado, ficou acima da faixa de conforto indicado por Cassuce et al. (2013) e Cândido et al. (2016), indicando que há a possibilidade do avicultor trabalhar com temperaturas mais baixas durante a fase de aquecimento, visando reduzir seus custos operacionais.

Apesar dos estudos citados acima mostrarem a viabilidade da utilização de temperaturas mais baixas durante a fase de aquecimento, sem causar danos a performance produtiva dos animais, a grande maioria dos produtores ainda temem adotar esses valores como referência para o aquecimento de seus aviários. Faz-se necessário neste caso, um maior trabalho, principalmente de extensão, para mostrar a esses avicultores que é possível aplicar valores de temperatura mais baixos durante a fase de aquecimento, sem causar prejuízos ao desempenho produtivo dos animais, o que reduziria seus custos com aquecimento durante essa fase.

2.3.2 Fase de Pós-aquecimento

Após a fase de aquecimento, que durou até os 18 dias de vida das aves, iniciou-se a fase de pós-aquecimento, que durou até o abate das aves com 42 dias de idade. A relação entre a temperatura horária média observada no interior dos aviários estudados, a temperatura horária média observada no abrigo meteorológico instalado na área anexa aos galpões, e a temperatura recomendada como ideal (segundo Tinôco (2001) e Medeiros (2001)) para o conforto térmico das aves durante a fase de pós-aquecimento (quarta a sexta semana de vida das aves), nos três ciclos experimentais avaliados (inverno, primavera e verão) pode ser vista na Figura 2.5.

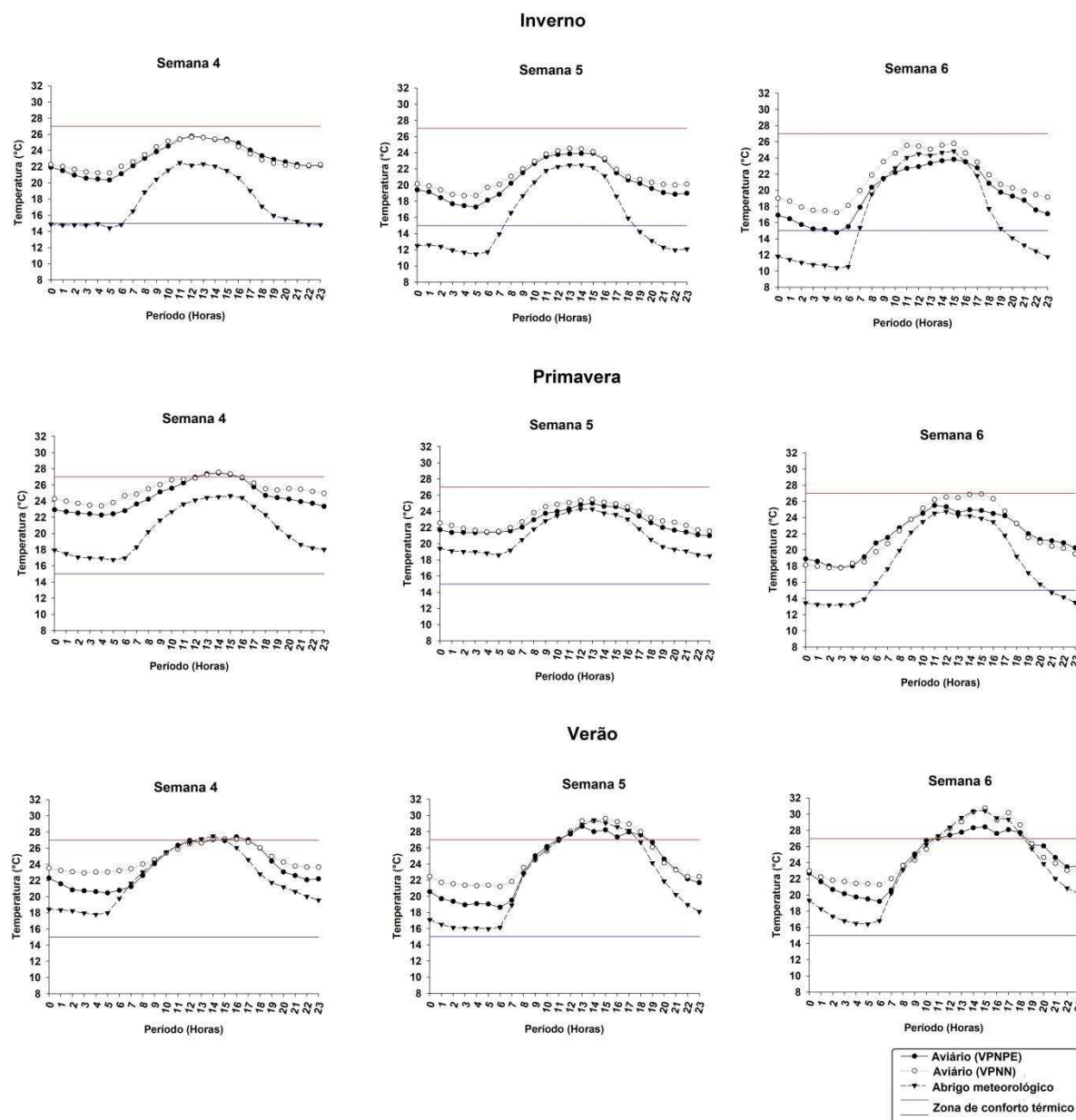


Figura 2.5 – Relação entre a temperatura média horária observada no interior de ambos os aviários estudados, com a temperatura média horária registrada no abrigo meteorológico e com a faixa de temperatura recomendada por Tinôco (2001) e Medeiros (2001) para o conforto térmico das aves na fase de pós-aquecimento durante os três ciclos experimentais avaliados.

Observa-se na Figura 2.5 que nos ciclos experimentais avaliados durante o inverno e a primavera, as temperaturas médias horárias registradas no interior de ambos os aviários estudados, estiveram dentro da faixa de valores indicados como confortável para as aves, na fase de pós-aquecimento, durante praticamente todo o período avaliado. No verão nas últimas duas semanas da fase de pós-aquecimento, pode-se observar períodos onde a temperatura horária média interna em ambos os aviários estudados, estavam acima do limite máximo da faixa de valores de conforto para as aves nessa idade. Os valores de temperatura acima do limite recomendado

para o conforto das aves, observados no interior dos aviários estudados foram registrados no período onde a temperatura externa apresentava valores mais críticos, entre as 12 e 18 horas, mostrando que como os galpões não são isolados termicamente, há uma forte influência das condições externas sobre as condições internas do aviário.

Ainda no ciclo experimental avaliado no verão, pode-se observar que durante o período onde as temperaturas internas nos aviários ficaram acima da faixa de conforto para as aves, verificou-se algumas horas onde a temperatura externa foi maior que a verificada no interior dos aviários, fato verificado com maior frequência no Aviário (VPNPE) do que no Aviário (VPNN). Isso indica que possivelmente nesses períodos os sistemas de resfriamento adiabático evaporativo foram acionados nos aviários, tentando melhorar as condições térmicas em relação ao conforto das aves.

Como pode ser observado na Figura 2.5, durante alguns períodos do dia no ciclo avaliado no verão, a temperatura média interna em ambos os aviários estudados ficou acima da faixa de valores descrito como confortável para as aves nessa idade. Apesar de ser muito difícil manter as condições internas nos aviários dentro da faixa de conforto térmico para as aves durante todo o período de criação, é importante para o bom desempenho dos animais, que os períodos em que eles estejam submetidos à condição de estresse térmico sejam o mínimo possível. Isso é importante, pois quando submetidos ao estresse por calor, as aves tendem a sofrer alterações comportamentais e fisiológicas, como as descritas por Lopes et al. (2015); Silva et al. (2015) e Navas et al. (2016).

O manual da linhagem alojada nos aviários estudados indica uma faixa de temperatura para o conforto das aves na fase de pós-aquecimento variando entre 19 e 23°C (Hubbard, 2016). O painel de controle do sistema de climatização dos aviários estudados estava programado para manter a temperatura no interior dos aviários durante a fase de pós-aquecimento na faixa de 20 a 25°C. Levando esses valores em consideração, as temperaturas médias horárias registradas em ambos os aviários estudados, estava fora da faixa de conforto térmico para as aves na maior parte do tempo analisado em todos os ciclos experimentais avaliados.

Apesar do sistema de climatização dos aviários estudados estarem programados para manter a temperatura interna nos aviários durante a fase de pós-aquecimento na faixa de 20 a 25°C, estudos apresentados na literatura, mostram que é possível

trabalhar com um limite superior da faixa de conforto térmico para as aves mais elevado, sem comprometer o desempenho produtivo dos animais. Medeiros et al. (2005) verificaram em seu estudo que durante a fase final do ciclo produtivo (22-42 dias) as aves apresentaram boas respostas zootécnicas, com base no desempenho zootécnico, mortalidade, respostas fisiológicas e comportamentais, na condição ambiental com temperaturas na faixa de 26°C, umidade de 55% e velocidade do vento de 1,5m.s⁻¹. Arcila (2014) estudando diferentes faixas de temperatura (25, 28, 31, 34 e 37°C) para frangos de corte na fase final do ciclo produtivo, verificou que os melhores resultados em termos de desempenho zootécnico foram verificados na condição de 28°C.

Em relação ao limite mínimo da faixa de conforto térmico das aves na fase de pós-aquecimento, Tinôco (2001) destaca, que nessa fase as aves toleram temperaturas mínimas de até 15°C. Isso é possível, pois de acordo com Ferreira (2016), na fase de pós-aquecimento as aves tem uma maior capacidade de suportar temperaturas mais amenas, devido seu sistema termorregulador estar mais desenvolvido, o que facilita o controle de sua homeotermia.

Considerando que os estudos apresentados na literatura indicam que as aves na fase de pós-aquecimento toleram temperaturas um pouco mais elevadas, em torno de 27 a 28°C, do que as tradicionalmente empregadas (25°C) é possível que os avicultores planejem melhor o manejo de seu sistema de climatização nessa fase, visando reduzir o consumo de energia demandado. Ceratto (2016) destaca que os equipamentos do sistema de climatização (exaustores e bombas de nebulização e placas) demandam cerca de 70% de todo o consumo de energia elétrica em uma instalação avícola. Sendo assim toda possibilidade de economia de energia, e consequentemente redução dos custos operacionais, sem comprometimento do rendimento produtivo dos animais, deve ser considerada pelos avicultores, buscando a melhor relação custo benefício do seu sistema produtivo.

Além da análise da variação temporal da temperatura interna dos aviários, a análise da variação espacial desses dados é outro parâmetro que auxilia na avaliação da eficiência dos sistemas de ventilação utilizados nas instalações avícolas. Na Figura 2.6 pode ser vista a variação espacial dos dados médios de temperatura registrados durante a fase de pós-aquecimento em ambos os aviários estudados, nos três ciclos experimentais avaliados.

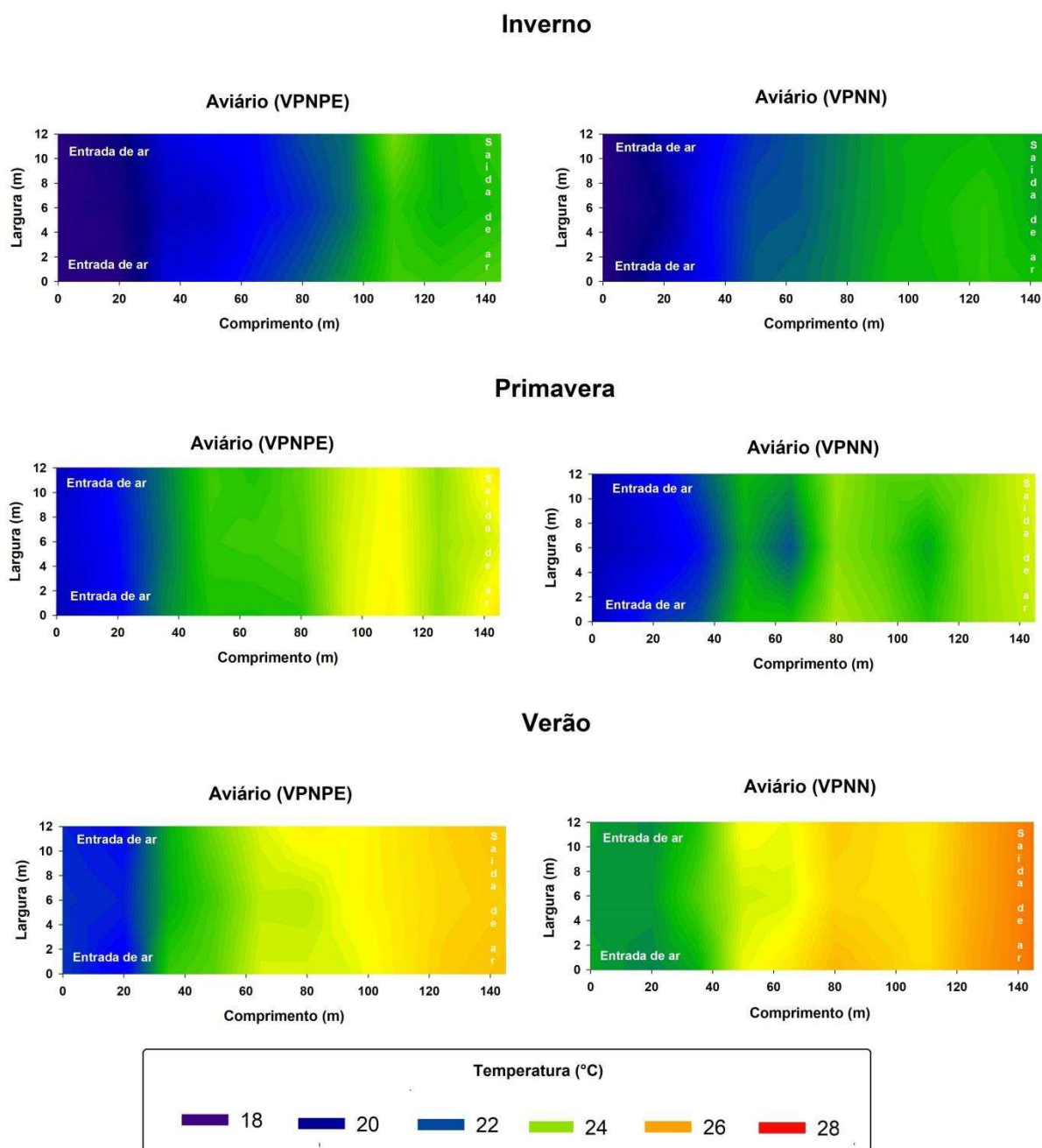


Figura 2.6 – Variação espacial da temperatura média registrada no Aviário climatizado com Sistema de Ventilação por Pressão Negativa associado a Resfriamento Adiabático Evaporativo com Painéis Evaporativos (VPNPE) e no Aviário climatizado com Sistema de Ventilação por Pressão Negativa associado a Resfriamento Adiabático Evaporativo com Nebulizadores (VPNN), nos ciclos experimentais avaliados no inverno, na primavera e no verão.

Observa-se na Figura 2.6 que a temperatura média do ar registrada no interior de ambos os aviários estudados, durante a fase de pós-aquecimento, sofreu um aumento gradativo no sentido do fluxo do ar, ou seja, no sentido da entrada de ar para os exaustores. Essa diferença foi de 4,5, 4,6 e 4°C no Aviário (VPNPE) e 4,2, 4,1 e 4°C no Aviário (VPNN), no inverno, na primavera e no verão, respectivamente.

De acordo com Coelho (2018) esses valores são considerados muito alto, uma vez que, admitem-se em geral gradientes máximos de até 3°C para aviários com boas condições.

Segundo Hernandez et al. (2016) e Coelho (2018), o incremento dos valores de temperatura ao longo do aviário pode ser justificado em função do uso do sistema de ventilação mecânica em modo túnel, onde ao serem acionados, os exaustores promovem o deslocamento do ar da entrada de ar em direção aos exaustores (saída de ar). Esse fluxo de ar carrega consigo o calor metabólico produzido pelos animais ali alojados, acrescido da carga térmica gerada pelos equipamentos ali utilizados e oriunda da radiação solar emitida através da cobertura e dos fechamentos laterais.

Esse elevado gradiente de temperatura verificado ao longo dos aviários estudados pode comprometer negativamente a uniformidade final do lote, uma vez que, o desempenho produtivo das aves é influenciado pelas condições térmicas do ambiente onde estão alojadas. Isso pode acabar acarretando prejuízos financeiros aos avicultores no momento do abate do lote.

De acordo com Silva et al. (2013), mesmo que os valores médios de temperatura verificados no interior dos aviários esteja dentro da faixa considerada de conforto para as aves, se o gradiente térmico ao longo do aviário for muito elevado, pode acarretar na desuniformidade do desempenho do lote alojado, o que consequentemente gera prejuízo ao avicultor no momento do abate do lote. Esses autores estudando a variabilidade espacial do ambiente térmico em aviários com sistema de ventilação por pressão negativa associado ao resfriamento adiabático evaporativo promovido por nebulizadores encontraram temperaturas médias no interior da instalação, com aves na idade de 42 dias, no horário crítico, entre as 12 e 15 horas, de aproximadamente 28°C, com extremos variando entre 25,5 e 32,2°C. Isso acabou refletindo em desuniformidade no peso final do lote de animais avaliados.

Uma possível solução para reduzir o gradiente de temperatura verificado ao longo dos aviários estudados, seria o investimento no isolamento da instalação, principalmente da cobertura. De acordo com Machado et al. (2012) a alta incidência de radiação solar sobre a cobertura do aviário, consiste em um dos principais causadores de estresse térmico nas instalações avícolas, contribuindo para o incremento de calor ao longo da instalação. Coelho (2018) destaca que comparativamente em relação ao isolamento nos fechamentos laterais, seja ele de

parede sólida ou de cortina, o isolamento térmico da cobertura, mostra-se como um melhor investimento, visto que é através da cobertura que vem a maior carga radiante.

2.4 Conclusões

1- Considerando a faixa de conforto térmico para frangos de corte na fase de aquecimento adotada no presente estudo verificou-se que em grande parte do tempo avaliado, a temperatura média horária registrada na zona de ocupação das aves, esteve acima do limite superior da faixa de valores de conforto para frangos de corte nessa idade, nos três ciclos experimentais avaliados (inverno, primavera e verão). Isso mostra que é possível o produtor adaptar o manejo do seu sistema de aquecimento para trabalhar com faixas de temperatura mais amenas visando reduzir os custos de aquecimento.

2 – Na fase de pós-aquecimento, considerando a faixa de valores de conforto térmico adotados como referência para o presente estudo, verificou-se que nos ciclos experimentais avaliados durante o inverno e a primavera, as temperaturas médias horárias registradas no interior de ambos os aviários estudados, estavam dentro da faixa de conforto. Já no ciclo experimental avaliado no verão, verificou-se a ocorrência de períodos com temperatura acima do limite superior da faixa de valores de conforto em ambos os aviários estudados, especialmente no período onde as condições de temperatura externa estavam mais elevadas (12 a 18 horas).

3 – Observou-se que o gradiente de temperatura verificado ao longo de ambos os aviários estudados durante a fase de pós-aquecimento ficou acima do limite tolerável, em todos os ciclos experimentais avaliados.

2.5 Referências

Abreu, V. M. N.; Abreu, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1-14, 2011.

Arcila, J. C. P. Desempenho zootécnico e fisiológico de frangos de corte, na fase final de crescimento, submetidos a diferentes níveis de estresse por calor. Viçosa: UFV, 2014. Tese (Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2014.

Bueno, L.; Rossi, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos de corte quanto a energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.497 – 504. 2006.

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

Cassuce, D. C.; Tinôco, I. F. F.; Baêta, F. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R.; Viera, M. F. F. A. Thermal comfort temperature up date for broiler chicken up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p. 28-36, 2013.

Ceratto, V. Custo de energia das granjas – O item de maior custo de produção para os integrados da avicultura de corte. **Avicultura Industrial**. 2016. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/custo-de-energia-das-granjas-o-item-de-maior-custo-de-producao-para-os/20160516-095510-c801>

Coelho, D. J. R. Ambiente térmico e aéreo de aviários sólidos de frangos de corte acondicionados artificialmente para condições climáticas do Brasil e de Portugal. Viçosa: UFV, 2018. **Tese (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2018.

Curi, T. M. R. C.; Vercellino, R. A.; Massari, J. M.; Souza, Z. M; Moura, D. J. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.6, p. 1062-1074. 2014.

Ferreira, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. 3ª Ed. Viçosa – MG. Ed. Aprenda Fácil, 2016, 528p.

Hernandez, R. O.; Tinôco, I. F. F.; Saraz, J. A. O.; Mendes, L. B.; Rocha, K. S. O.; Garcia, L. M. G. Thermal environment in two broiler barns during the first three weeks of age. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.3, p.256-262. 2016.

Hubbard. **Broiler management – Manual Fast Growth**. 2016. Disponível em: <https://www.hubbardbreeders.com/media/manual_broiler_management_en__013796700_1441_27062016.pdf >

Leva, F. F.; Camacho, J. R.; Salerno, C. H.; Guimarães, S. C. Modelo de sistema de aquecimento solar aplicado a galpões avícolas. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 6., 2006, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200013&lng=en&nrm=abn>

Lopes, J. C. O.; Ribeiro, M. N.; Lima, V. B. S. Estresse por calor em frangos de corte: Avicultura, desempenho, infraestrutura, nutrição, temperatura. **Nutritime Revista Eletrônica**, on-line, Viçosa, v.12, n.6, p.4478-4487. 2015.

Macari, M.; Furlan, R.; Maiorka, A. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: **Produção de frangos de corte**. Campinas - SP, 2004.

Machado, N. S.; Tinôco, I. F. F.; Zolnier, S.; Mogami, C. A.; Damasceno, F. A.; Zeviani, W. M. Resfriamento da cobertura de aviários e seus efeitos na mortalidade e nos índices de conforto térmico. **Nucleus**, v. 9, n. 2, p. 59–73, 2012.

Mascarenhas, N. M. H.; Costa, A. N. L.; Pereira, M. L. L.; Caldas, A. C. A.; Batista, L. F.; Gonçalves, E. L. Thermal conditioning in the broiler production: challenges and possibilities. **J. Anim Behav Biometeorol**, v.6, p. 52-55. 2018.

Medeiros, C. M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. Viçosa: UFV, 2001. **Tese (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2001.

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

Navas, T. O.; Oliveira, H. F.; Carvalho, F. B.; Stringhini J. H.; Café, M. B.; Filho, P. H. Estresse por calor na produção de frangos de corte: Ambiente, avicultura industrial, conforto térmico, desempenho. **Nutritime Revista Eletrônica**, on-line, Viçosa, v.13, n.1, p.4550-4557. 2016.

Oliveira, R. F. M.; Donzele, J. L.; Abreu, M. L. T.; Ferreira, R. A.; Vaz, R. G. M. V.; Cella, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e

o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.797–803, 2006.

Santos, P. A dos.; Baêta, F. C.; Tinôco, I. F. F.; Albino, L. F. T.; Cecon, P. R. Ventilação em modo túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. **Revista Ceres**, n.56, v.2, p.172-180. 2009.

Santos, M. P.; Vale, M. M.; Branco, T.; Klein, D. R.; Santos, J. P. A. Heat stress in broilers and the need of climatization systems. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v.11, n.3, p.265-272. 2017.

Schmidt, N. S.; Silva, C. L. Pesquisa e desenvolvimento na cadeia produtiva de frangos de corte no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 56, n.3, p.467-482. 2018.

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

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

Silva, E. G da.; Santos, A. C.; Ferreira, C. L. S.; Sousa, J. P. L.; Rocha, J. M. L.; Silveira Junior, O. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. **Revista Brasileira de Saúde e Produção animal**, Salvador, v.14, n.1, p.132-141. 2013.

Tinôco, I. F. F. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Rev. Bras. Cienc. Avic.**, vol.3, n.1, p.01-26, 2001.

CAPÍTULO III

Viabilidade técnico-econômica do sistema híbrido de ventilação durante a fase de pós-aquecimento em aviários de corte com pressão negativa

Resumo: Uma das alternativas para reduzir os efeitos do ambiente térmicos sobre os animais é a climatização da instalação. A ventilação mecânica por pressão negativa, atualmente é uma estratégia muito difundida entre os avicultores, na busca por proporcionar as aves um ambiente térmico mais próximo ao ideal. Porém a forma como é empregada no Brasil, com aviários 100% do tempo fechados e com parte dos exaustores continuamente ligados, acaba gerando desperdício de energia, uma vez o Brasil tem baixa amplitude térmica, apresentando períodos onde seria viável deixar os galpões abertos para a utilização da climatização natural. Neste sentido, o sistema híbrido de ventilação mostra-se como a melhor solução para as condições da avicultura industrial do Brasil, favorecendo, portanto, a utilização de condicionamento térmico natural em boa parte do dia e do ano, sempre quando as condições térmicas são amenas, viabilizando, assim, a economia de energia dispendida nos processos de aquecimento e resfriamento do ambiente das aves. Com base no exposto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar o consumo de energia elétrica demandado pelo sistema de ventilação em uma granja comercial localizada na Zona da Mata Mineira com dois aviários de frangos de corte fechados, munidos de sistema de ventilação por pressão negativa em modo túnel e associados a diferentes sistemas de resfriamento adiabático evaporativo (Aviário VPNPE e Aviário VPNN), durante a fase de pós-aquecimento em diferentes estações climáticas, e avaliar o potencial de implantação do sistema híbrido de ventilação na instalação. O sistema de ventilação em ambos os aviários estudados demandam uma alta quantidade de eletricidade para o seu funcionamento, independente da época do ano avaliada. Verificou-se durante a fase de pós-aquecimento períodos com temperatura externa abaixo e acima da faixa de valores estabelecidos como possíveis para a utilização da climatização natural da instalação, bem como horas com temperatura externa na faixa de valores considerados como possíveis para a promoção da climatização natural da instalação. O potencial de economia nos custos

com energia elétrica no Aviário (VPNPE) foi de R\$ 407,1, R\$ 652,4 e R\$ 551,1 no inverno, primavera e verão respectivamente. No Aviário (VPNN) o potencial de economia nos custos com energia elétrica foi de R\$ 271,4, R\$ 434,9 e R\$ 367,4, no inverno, primavera e verão respectivamente.

Palavras-chaves: Acondicionamento térmico natural, demanda energética sistemas de ventilação, economia de energia elétrica, exigências térmicas de frangos de corte.

Abstract: One of the alternatives to reduce the effects of the thermal environment on animals is the thermal conditioning of the facility. Negative pressure mechanical ventilation is currently a very widespread strategy among poultry farmers, seeking to provide birds with a thermal environment that is closer to ideal. However, the way it is used in Brazil, with 100% closed poultry houses and part of the exhaust fans continuously turned on, generates waste of energy, since Brazil has low thermal amplitude, presenting periods where it would be feasible to leave the barns open for use of natural thermal conditioning. In this sense, the hybrid ventilation system is the best solution for the conditions of industrial poultry farm in Brazil, favoring, therefore, the use of natural thermal conditioning during most of the day and year, whenever the thermal conditions are mild, thus enabling the energy savings spent on the heating and cooling processes of the bird environment. Based on the above, this research aimed to analyze the electricity consumption demanded by the ventilation system in a commercial broiler farm located in Zona da Mata Mineira with two closed broiler houses, equipped with negative pressure ventilation system in tunnel mode and associated with different evaporative cooling systems (Barn VPNPE and Barn VPNN), during the growout phase in different climatic seasons, and to evaluate the potential of the installation of the hybrid ventilation system in the facility. The ventilation system in both broiler houses studied demands a high amount of electricity to operate, regardless of the time of year evaluated. During the growout phase, there were periods with outside temperature below and above the range of values established as possible for the use of the natural climate control of the barn, as well as hours with outside temperature in the range considered as possible for the promotion of natural climate control of the barn. The potential savings in electricity costs at the Barn (VPNPE) were R\$ 407.1, R\$ 652.4 and R\$ 551.1 in winter, spring

and summer respectively. In the Barn (VPNN) the potential savings in electricity costs was R\$ 271.4, R\$ 434.9 and R\$ 367.4, in winter, spring and summer respectively.

Keywords: Energy demand of the ventilation systems, energy saving in poultry farm, natural thermal conditioning, thermal requirements of broilers.

3.1 Introdução

Uma das alternativas para reduzir os efeitos do ambiente térmicos sobre os animais é a climatização da instalação. Bueno e Rossi (2006) consideram como instalações climatizadas, aquelas dotadas de equipamentos de ventilação, exaustão, nebulização e painéis de resfriamento evaporativo, cujo objetivo é atingir o conforto térmico no interior do galpão, independente do clima externo.

Silva et al. (2013) afirmam que a ventilação artificial por pressão negativa, atualmente é uma estratégia muito difundida entre os avicultores, buscando proporcionar aos animais um ambiente térmico mais próximo ao ideal, para que os mesmos possam expressar seu máximo potencial produtivo. Porém a forma como é empregada no Brasil, com aviários 100% do tempo fechados e com parte dos exaustores continuamente ligados, acaba gerando desperdício de energia, uma vez o Brasil tem baixa amplitude térmica, apresentando períodos onde seria viável deixar os galpões abertos para economizar energia, além de grande parte dos aviários brasileiros não serem isolados termicamente dificultando o controle das condições de temperatura interna dos galpões fechados 100% do tempo.

De acordo com Migliorini (2013) apesar de ser de fundamental importância para atender as exigências de manejo e ambiência em uma instalação comercial de criação de aves de corte, a climatização dos galpões tem como principal consequência o aumento do consumo de energia elétrica. Esse aumento da demanda de energia elétrica se dá devido a maior frequência de utilização de equipamentos de climatização, como ventiladores, exaustores e nebulizadores.

Na busca de estratégias para controlar as condições térmicas no interior dos estábulos, visando baixo custo energético, o uso de sistemas de ventilação puramente naturais seria a solução ideal. No entanto, sua aplicação bem-sucedida é limitada em climas quentes e úmidos, devido a uma maior dificuldade em atender às demandas de conforto térmico nessas regiões, o que demanda sistemas mais confiáveis (ASHRAE, 2017). Nesse sentido, na busca de soluções mais racionais

para o controle do ambiente térmico no interior dos aviários, visando maior economia de energia, o sistema de ventilação híbrida, que consiste em misturar ventilação mecânica com ventilação natural, promovida quando as condições climáticas do ambiente externo estão adequadas, aparece como uma alternativa interessante. Esse sistema consiste em uma combinação de ventilação natural e mecânica, onde a instalação contém grandes aberturas de parede ajustáveis ao fluxo de ar, com cortinas que podem ser ajustadas abertas ou fechadas para controlar o fluxo total de ar no interior da instalação (AMEC, 2016).

Com base no exposto, a presente pesquisa teve como objetivo analisar o consumo de energia elétrica demandado pelo sistema de ventilação em uma granja comercial localizada na Zona da Mata Mineira com dois aviários de frangos de corte fechados, munidos de sistema de ventilação por pressão negativa em modo túnel (VPN), sendo um deles com exaustores com motor de acionamento com potência de 1,5cv e sistema de resfriamento adiabático evaporativo por painéis de celulose (Aviário VPNPE) e a outro com exaustores com motor de acionamento com potencia de 1,0cv e sistema de resfriamento evaporativo por nebulizadores (Aviário VPNN), durante a fase de pós-aquecimento em diferentes estações climáticas, e avaliar o potencial de implantação do sistema híbrido de ventilação na instalação (o qual permite aberturas de cortinas, desligamento dos sistemas de ventilação artificial e uso de ventilação natural, sempre que as condições térmicas externas sejam favoráveis), com base na estimativa do potencial de economia de energia elétrica a partir do aproveitamento das condições climáticas da região para a utilização da climatização natural da instalação.

3.2 Metodologia

O experimento foi conduzido em uma granja comercial de frangos de corte localizada na Zona da Mata Mineira, no município de Ervália – Minas Gerais, sob a latitude 20° 50' 24" S e longitude 42° 39' 26" W, apresentando altitude média de 730 metros e clima subtropical de altitude Cwa (clima subtropical de inverno seco) pela classificação de Koppen, com temperatura média anual de 19,4°C. O experimento foi conduzido ao longo de três lotes consecutivos, sendo um no inverno, um na primavera e outro no verão, correspondendo ao período mais frio, ao período de transição e mais quente do ano, respectivamente.

A granja é composta por dois aviários com capacidade para 30000 aves/ciclo cada um, apresentando as seguintes características construtivas: 12 metros de largura por 145 metros de comprimento e pé-direito de 3 metros; cobertura com telha de fibrocimento e forro de poliuretano; fechamento em alvenaria nas cabeceiras e fechamento lateral com cortinas de poliuretano. Cada galpão também é equipado com sistema automático de distribuição de ração e bebedouros do tipo nipple.

O manejo do ambiente térmico nos aviários é dividido em duas etapas, sendo estas, a fase de aquecimento, que compreende os 15 a 18 primeiros dias de vida das aves e a fase de pós-aquecimento, que compreende o período do fim do aquecimento até o abate, que se dá entre o 42° e 45° dia de vida das aves. Durante a fase de aquecimento, os sistemas de ventilação são necessários apenas para ventilação mínima, visando à renovação higiênica do ar no interior dos galpões sem a perda excessiva de calor para o ambiente externo. Na fase de pós-aquecimento, como as demandas térmicas das aves são maiores, há uma demanda maior dos sistemas de ventilação, conseqüentemente aumentando o gasto energético desses sistemas nessa fase do ciclo produtivo, principalmente se considerar que os aviários trabalham 100% do tempo fechados e com pelo menos dois, quatro ou seis exaustores continuamente ligados. As características do sistema de climatização utilizado em cada um dos aviários estudados estão descritas abaixo.

- **Aviário Ventilação por Pressão Negativa mais Painel Evaporativo (VPNPE):** Sistema de ventilação por pressão negativa, tipo túnel, com 8 exaustores de 50 polegadas com cone direcionador de ar e motor com potência de 1,5cv, divididos em 4 grupos de acionamento com 2 exaustores em cada grupo. Resfriamento adiabático evaporativo realizado por meio de painéis evaporativos de placa de celulose, instalados na entrada de ar. Sistema de aquecimento composto por uma fornalha com alimentação automática de aparas de madeira, instalada em área externa anexa ao galpão. A distribuição do ar quente para o interior do galpão foi feita por meio de tubos perfurados de poliuretano, com diâmetro de 0,85 m.

- **Aviário Ventilação por Pressão Negativa mais Nebulizadores (VPNN):** Sistema de ventilação por pressão negativa, tipo túnel, com 8 exaustores de 50 polegadas com cone direcionador de ar e motor com potência de 1,0cv, divididos em 4 grupos de acionamento com 2 exaustores em cada grupo. Resfriamento evaporativo realizado por meio de nebulizadores instalados em 16 linhas com 8 nebulizadores cada, distribuídas uniformemente no interior do aviário. O sistema de

aquecimento é composto por uma fornalha com alimentação manual de lenha, instalada em área externa anexa ao galpão. A distribuição do ar quente para o interior do galpão foi realizada por meio de tubos perfurados de poliuretano, com diâmetro de 0,85 m.

O tempo de operação de cada grupo de exaustores durante a fase de pós-aquecimento nos dois aviários estudados foi monitorado usando os registradores de dados de status do motor (ligado / desligado) Hobo[®] modelo H06-004-02 conectados aos motores de acionamento de cada grupo de exaustores. Os grupos de ativação dos exaustores em ambos os aviários foram divididos de acordo com o esquema mostrado na Figura 3.1.

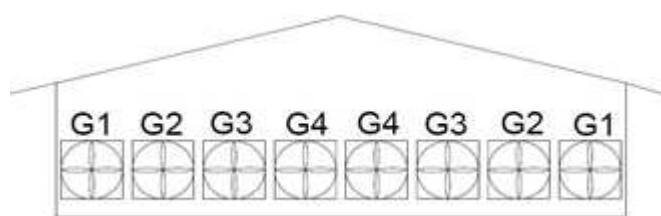


Figura 3.1 – Disposição dos grupos de acionamento dos exaustores nos aviários estudados

O consumo de eletricidade demandado por cada grupo de exaustores e pelo sistema de ventilação como um todo, durante a fase de pós-aquecimento, foi calculado para cada um dos três ciclos avaliados (inverno, primavera e verão) nos dois aviários estudados. O consumo de energia elétrica de cada grupo de exaustores, durante a fase de pós-aquecimento, foi calculado relacionando o tempo de operação de cada grupo de exaustores durante esta fase, com as especificações dos motores de acionamento de cada exaustor (potência), e o consumo de energia do sistema de ventilação como um todo, foi calculado pela soma do consumo de cada grupo de exaustores, de acordo com as equações 3.1 e 3.2.

$$CE_{grupo} = \frac{(P_{motor} \times n_{exaustores}) \times t}{1000} \quad (3.1)$$

Onde:

CE_{grupo} – Consumo de energia elétrica demandada por cada grupo de ventilação (kW.h);

P_{motor} – Potência do motor de acionamento do exaustor (W);

$n_{exaustores}$ – Numero de exaustores acionados no grupo de ventilação;

t – Tempo de funcionamento do grupo de ventilação (h).

$$CE_{\text{sistema_ventilação}} = \sum_{i=1}^n CE_{\text{grupo}_i} \quad (3.2)$$

Onde:

$CE_{\text{sistema_ventilação}}$ – Consumo de energia elétrica demandada pelo sistema de ventilação (kW.h);

n – Número de grupos de acionamento dos exaustores;

CE_{grupo_i} – Consumo de energia elétrica demandada pelo grupo de ventilação i (kW.h).

O potencial de economia de energia elétrica devido às condições climáticas da região para o uso do condicionamento térmico natural do aviário, durante a fase de pós-aquecimento, em cada um dos ciclos experimentais analisados, foi avaliado relacionando as condições climáticas verificadas na região (Ervália – MG) com as exigências térmicas das aves nessa fase do ciclo produtivo. A condição climática da região foi caracterizada com base nos dados horários de temperatura, registrados no abrigo meteorológico instalado próximo aos aviários estudados. Esses dados foram coletados durante os três ciclos experimentais avaliados. A faixa de temperatura recomendada como ideal para as aves na fase de pós-aquecimento foi definida seguindo as recomendações de Tinôco (2001) e Medeiros (2001), e variou entre 15 e 27°C.

Considerando a faixa de temperatura estabelecida como condição de conforto para as aves na fase de pós-aquecimento e a recomendação de Coelho (2014), que destaca que a temperatura média do ar no interior de alojamentos avícolas com bom isolamento térmico, é em geral, cerca de 3°C superior àquela registrada nos abrigos meteorológicos, foram estabelecidos os seguintes critérios para definir a necessidade de acondicionamento térmico artificial na instalação:

- Se a temperatura externa registrada no abrigo meteorológico for menor que 15°C: fechar as cortinas laterais do aviário e ligar os exaustores no modo de ventilação mínima;
- Se a temperatura externa registrada no abrigo meteorológico for maior que 24°C: Fechar as cortinas laterais do aviário e ligar os exaustores. O número de exaustores ligados simultaneamente deve variar em função das condições internas do aviário.

O número de horas com potencial para o aproveitamento das condições climáticas da região para a climatização natural da instalação, em cada ciclo experimental avaliado, foi calculado por meio da Equação 3.3, relacionando as temperaturas médias horárias registradas no abrigo meteorológico, com os critérios estabelecidos para a definição da necessidade de acondicionamento térmico artificial da instalação.

$$NHTI_{\text{estação}} = \sum_{i=1}^n HTI_i \quad (3.3)$$

Onde:

$NHTI_{\text{estação}}$ – Número de horas com temperatura externa dentro da faixa ideal para o uso de acondicionamento térmico natural na instalação em cada ciclo experimental avaliado [inverno, primavera e verão] (h);

HTI_i – Hora com possibilidade de aproveitamento das condições climáticas da região para o acondicionamento térmico natural da instalação, sendo ($HTI_i = 1$ se $(15 < T_{e_i} < 24)$ e $HTI_i = 0$ se $(T_{e_i} < 15$ ou $T_{e_i} > 24)$);

T_{e_i} – Temperatura externa registrada no abrigo meteorológico na hora i ;

n – Número de horas da fase de pós-aquecimento.

Considerando a relação entre o número de horas com temperatura externa dentro da faixa ideal para o uso de acondicionamento térmico natural, com as especificações dos motores de acionamento do exaustor (potência) e a energia elétrica demandada pelo sistema de ventilação, considerando o número mínimo de exaustores continuamente ligados durante a fase de pós-aquecimento (Tabela 3.1), pode-se estimar pela equação 3.4, o potencial mínimo de economia de energia elétrica considerando as condições climáticas da região para promover o condicionamento térmico natural da instalação, em cada um dos lotes avaliados.

$$EE = \frac{(NHTI \times (P_{\text{motor}} \times n_{\text{exaustores}}))}{CE_{\text{sistema_ventilação_min}}} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde:

EE – Estimativa do percentual mínimo de economia de energia elétrica, considerando o número de horas com temperatura externa dentro da faixa ideal para o uso de acondicionamento térmico natural na instalação, em cada ciclo experimental avaliado [inverno, primavera, verão] (%)

$NHTI_{\text{estação}}$ – Número de horas com temperatura externa dentro da faixa ideal para o uso de condicionamento térmico natural na instalação, no ciclo experimental avaliado [inverno, primavera, verão] (h), calculado pela Equação 3.3

P_{motor} – Potência do motor de acionamento do exaustor (kW)

$n_{\text{exaustores}}$ – Numero de exaustores ligados

$CE_{\text{sistema_ventilação_min}}$ – Consumo de eletricidade demandado pelo sistema de ventilação, considerando o número mínimo de exaustores continuamente ligados durante a fase de pós-aquecimento (kW.h).

Tabela 3.1 – Recomendação mínima de ventilação adotada durante a fase de pós-aquecimento em cada um dos ciclos experimentais estudados

| Estação | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Inverno | 2 Exaustores ligados | 4 Exaustores ligados | 4 Exaustores ligados |
| | ininterruptamente | ininterruptamente | ininterruptamente |
| Primavera | 2 Exaustores ligados | 4 Exaustores ligados | 6 Exaustores ligados |
| | ininterruptamente | ininterruptamente | ininterruptamente |
| Verão | 2 Exaustores ligados | 4 exaustores ligados | 6 Exaustores ligados |
| | ininterruptamente | ininterruptamente | ininterruptamente |

3.3 Resultados e discussão

O tempo total de funcionamento do sistema de ventilação, durante a fase de pós-aquecimento, em ambos os aviários estudados em cada um dos três ciclos experimentais avaliados (inverno, primavera e verão), pode ser visto na Tabela 3.2. Esse tempo total de funcionamento do sistema de ventilação foi calculado considerando o somatório do tempo total de operação de cada grupo de exaustores registrados durante a fase de pós-aquecimento.

Tabela 3.2 – Tempo total de funcionamento do sistema de ventilação (h:min:seg), nos dois aviários estudados, durante a fase de pós-aquecimento no inverno, na primavera e no verão.

| Inverno | |
|------------------------------|------------------------------|
| Aviário (VPNPE) 843:05:57 | Aviário (VPNN) 832:59:21 |
| Primavera | |
| Aviário (VPNPE) 804:41:51 | Aviário (VPNN) 1094:39:55 |
| Verão | |
| Aviário (VPNPE) 948:42:54 | Aviário (VPNN) 986:34:14 |

Aviário (VPNPE) – Ventilação por Pressão Negativa associada a Paineis Evaporativos; Aviário (VPNN) – Ventilação por Pressão Negativa associada à Nebulização

Observa-se na Tabela 3.2 que o tempo total de funcionamento de sistema de ventilação no Aviário (VPNPE) foi maior no ciclo experimental avaliado no verão. Comparando o tempo total de funcionamento do sistema de ventilação nesse mesmo aviário nos ciclos experimentais avaliados no inverno e na primavera, observa-se que no inverno o tempo de funcionamento do sistema de ventilação foi menor na primavera, contrariando o que seria esperado. Um dos fatores que pode estar influenciando nesse tempo maior de uso do sistema de ventilação durante o inverno em relação à primavera, é o manejo inadequado do sistema, onde alguns grupos de exaustores podem estar sendo ligados sem necessidade durante o inverno, ou deixando de ser ligados (em momentos que deveriam ser ligados) durante a primavera. No Aviário (VPNN) observa-se que o tempo total de funcionamento do sistema de ventilação durante a fase de pós-aquecimento foi maior no ciclo experimental avaliado na primavera, contrariando o esperado, que seria um maior tempo de funcionamento do sistema de ventilação no verão, o que também pode ser explicado pelo manejo inadequado do sistema.

Pode ser visto também na Tabela 3.2 que no período mais quente do ano (primavera e verão), o tempo total de funcionamento do sistema de ventilação foi maior no Aviário (VPNN) do que no Aviário (VPNPE). Esse uso mais prolongado do sistema de ventilação no Aviário (VPNN) em comparação com o Aviário (VPNPE)

pode ser atribuído ao fato de os motores de acionamento dos exaustores no Aviário (VPNN) (1,0 cv) serem menos potentes que os do Aviário (VPNPE) (1,5 cv), o que indica a necessidade de ligar mais grupos de exaustores e por mais tempo, especialmente nas épocas mais quentes do ano, para tentar compensar essa diferença de potência no sistema de ventilação, visando fornecer a mesma condição térmica que o aviário que utiliza o sistema com exaustores mais potentes.

O tempo de funcionamento dos grupos de exaustores durante a fase de pós-aquecimento, em cada um dos aviários estudados, foi relacionado com as especificações dos motores de acionamento dos exaustores para o cálculo do consumo de energia elétrica demandada pelo sistema de ventilação durante essa fase. Essa análise foi feita para cada um dos três ciclos experimentais avaliados (inverno, primavera e verão) e os resultados podem ser vistos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Consumo de energia elétrica (kW.h) do sistema de ventilação em ambos os aviários estudados, durante a fase de pós-aquecimento, no inverno, na primavera e no verão.

| Inverno | |
|---------------------------|--------------------------|
| Aviário (VPNPE) 1860,2 | Aviário (VPNN) 1225,2 |
| Primavera | |
| Aviário (VPNPE) 1775,6 | Aviário (VPNN) 1610,0 |
| Verão | |
| Aviário (VPNPE) 2093,4 | Aviário (VPNN) 1451,0 |

Aviário (VPNPE) – Ventilação por Pressão Negativa associada a Pannel Evaporativo; Aviário (VPNN) – Ventilação por Pressão Negativa associada à Nebulização

A Tabela 3.3 mostra que o consumo de energia demandado pelo sistema de ventilação no Aviário (VPNPE), durante a fase de pós-aquecimento, foi maior que no Aviário (VPNN), independentemente do ciclo experimental avaliado (em média 34% maior no inverno; 9% maior na primavera e 30% maior no verão), o que era esperado pelo fato de a potência do motor usado para acionar os exaustores no Aviário (VPNPE) ser maior do que no Aviário (VPNN), o que acaba demandando um maior consumo de energia. Como o consumo de energia está diretamente

relacionado com o tempo de funcionamento dos exaustores, as mesmas contradições verificadas em relação ao tempo de funcionamento dos exaustores (maior tempo de funcionamento no inverno em relação a primavera no Aviário (VPNPE) e maior tempo de funcionamento na primavera em relação ao verão no Aviário (VPNN)) foram verificadas para os resultados de consumo de energia do sistema de ventilação.

Como pode ser visto na Tabela 3.3 o sistema de ventilação em ambos os aviários estudados demandam uma alta quantidade de eletricidade para o seu funcionamento, independente da época do ano avaliada, uma vez que esses aviários trabalham 100% do tempo fechados e com pelo menos dois, quatro ou seis exaustores continuamente ligados, dependendo da fase do ciclo produtivo e da época do ano. De acordo com Rajaniemi e Ahokas (2012), os sistemas de ventilação (exaustores/ventiladores) representam a maior demanda pelo uso de eletricidade em instalações avícolas. Essa alta demanda de energia elétrica por parte dos sistemas de ventilação em galpões de frangos de corte, pode ser verificada no estudo apresentado por Ceratto (2016) que afirma que cerca de 80% do consumo de energia em uma granja de frangos de corte é destinado ao condicionamento térmico dos aviários, e desse total, cerca de 60% vai para o sistema de ventilação.

Para avaliar o potencial de economia de energia elétrica em função do aproveitamento das condições climáticas da região para a promoção da climatização natural da instalação, durante a fase de pós-aquecimento, em cada um dos ciclos experimentais avaliados, os dados médios horários de temperatura externa registrados no abrigo meteorológico foram comparados com os critérios estabelecidos para a determinação da necessidade de climatização artificial da instalação. Na Tabela 3.4 são mostrados o número de horas com temperatura abaixo e acima da faixa de valores estabelecidos como possíveis para a utilização da climatização natural da instalação (15 a 24°C), e o número de horas com temperaturas dentro dessa faixa, durante a fase de pós-aquecimento em cada um dos ciclos experimentais avaliados.

Tabela 3.4 – Número de horas com temperatura abaixo (NHTAB) e acima (NHTAC) da faixa de valores estabelecidos como possíveis para a utilização da climatização natural da instalação (15 a 24°C), e o número de horas com temperaturas dentro dessa faixa de valores (NHTI), verificados em cada semana da fase de pós-aquecimento, na região de Ervália durante o inverno, primavera e verão.

| Estação | Semana 4 | | | Semana 5 | | | Semana 6 | | |
|-----------|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|------|
| | NHTAB | NHTAC | NHTI | NHTAB | NHTAC | NHTI | NHTAB | NHTAC | NHTI |
| Inverno | 39 | 11 | 118 | 79 | 9 | 80 | 82 | 20 | 66 |
| Primavera | 16 | 31 | 121 | 0 | 29 | 139 | 64 | 18 | 86 |
| Verão | 4 | 55 | 109 | 2 | 75 | 91 | 0 | 80 | 88 |

Na fase final do ciclo produtivo dos frangos de corte, que compreende o período entre a quarta e a sexta semana de vida das aves, verificou-se períodos com temperatura externa abaixo e acima da faixa de valores estabelecidos como possíveis para a utilização da climatização natural da instalação, bem como horas com temperatura externa na faixa de valores considerados como possíveis para a promoção da climatização natural da instalação, onde não seria necessária a utilização de sistemas artificiais de condicionamento térmico, em todos os ciclos experimentais avaliados.

Levando como base as exigências térmicas referentes às aves na fase de pós-aquecimento, verificou-se no ciclo experimental executado durante a estação fria (inverno), a ocorrência de 264 horas (52,4% do tempo total de duração da fase de pós-aquecimento) durante a fase de pós-aquecimento com temperaturas externas dentro da faixa considerada possível para a climatização natural da instalação. Durante a fase de pós-aquecimento no ciclo experimental estudado na estação de transição (primavera), verificou-se a ocorrência de 346 horas (68,6% do tempo total de duração da fase de pós-aquecimento) com temperaturas externas dentro da faixa considerada ideal para a climatização natural da instalação. No ciclo experimental executado durante a estação quente (verão), pode-se observar durante a fase de pós-aquecimento, a ocorrência de 288 horas (57,1% do tempo total de duração da fase de pós-aquecimento) com temperaturas externas dentro da faixa considerada ideal para a climatização natural da instalação.

Os dados referentes ao número de horas com temperatura externa dentro da faixa considerada ideal para a climatização natural da instalação, em cada ciclo

experimental avaliado, observados na Tabela 3.4, foram relacionados à demanda de energia elétrica do sistema de ventilação, considerando o número mínimo de exaustores ininterruptamente ligados durante a fase de pós-aquecimento, seguindo as recomendações adotadas pela empresa onde o experimento foi realizado (Tabela 3.1), para calcular a estimativa do percentual mínimo de economia de energia elétrica em cada aviário, para cada ciclo experimental avaliado. Os resultados dessa análise são mostrados na Figura 3.2.

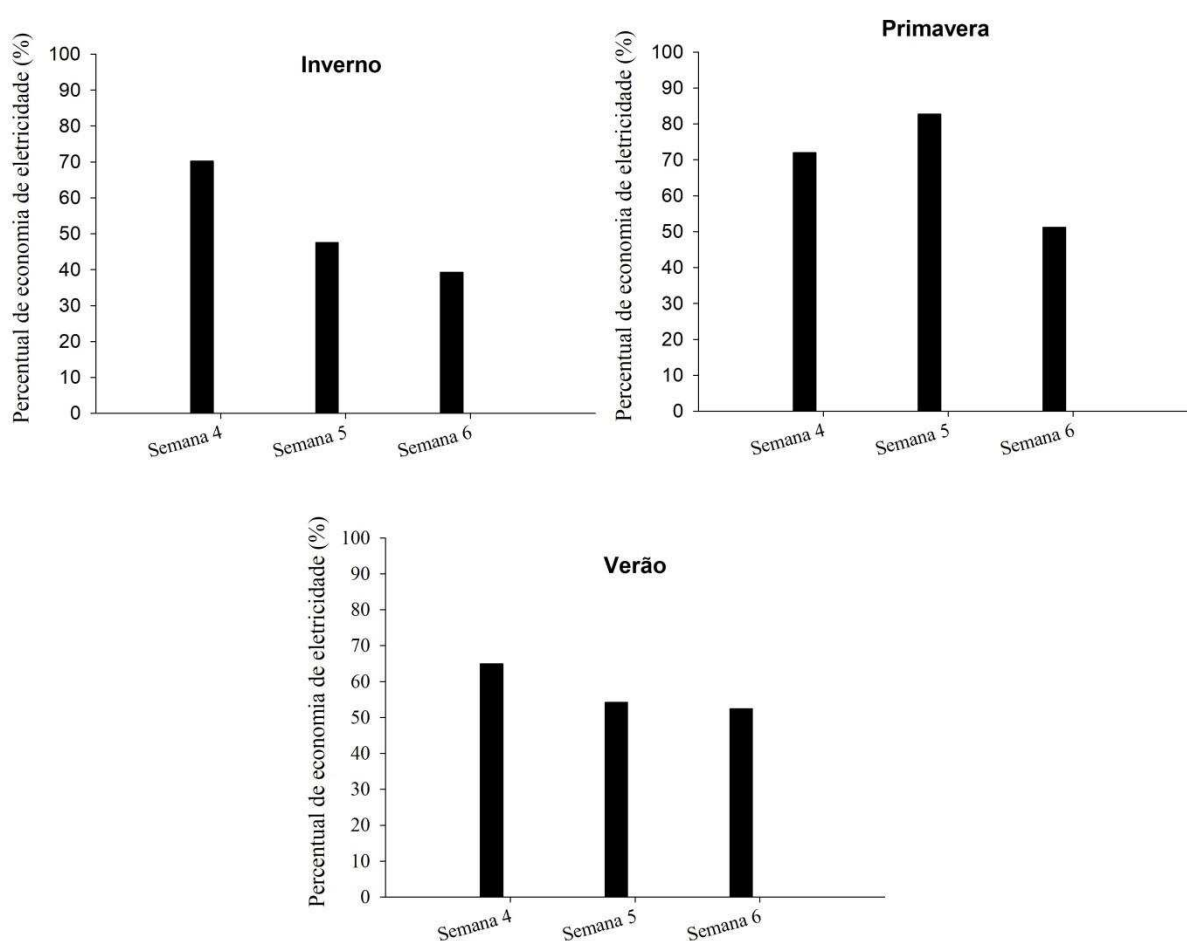


Figura 3.2 – Estimativa do potencial percentual de economia semanal de energia elétrica, considerando as condições climáticas da região (Ervália – MG) e o número mínimo de exaustores ininterruptamente ligados durante a fase de pós-aquecimento, em cada ciclo experimental avaliado.

Avaliando a Figura 3.2 observa-se que o potencial percentual de econômica de energia para o acionamento do sistema de ventilação, durante a fase de pós-aquecimento nos aviários estudados, considerando as condições climáticas da região para a utilização da ventilação híbrida, foi de 70,2, 47,6 e 39,3%, considerando o número mínimo de exaustores continuamente ligados nas semanas

4, 5 e 6 da fase de pós-aquecimento, para o ciclo experimental avaliado no inverno, de 72,0, 82,7 e 51,2% para a 4^a, 5^a e 6^a semanas da fase de pós-aquecimento do ciclo experimental avaliado na primavera, e de 64,9, 54,2 e 52,4%, nas semanas 4, 5 e 6 do ciclo experimental avaliado no verão.

Relacionando esse percentual semanal de economia de energia com as especificações dos sistemas de ventilação utilizados em cada um dos aviários estudados (potência dos motores de acionamento dos exaustores) e com as recomendações de utilização do sistema (número mínimo de exaustores continuamente ligados), pode-se observar um potencial de economia de energia demandada pelo sistema de ventilação na fase final do ciclo produtivo de 904,7kW.h para o Aviário (VPNPE) e 603,1kW.h para o Aviário (VPNN), durante o inverno, de 1449,7kW.h e 966,4kW.h para os Aviários (VPNPE) e (VPNN) respectivamente, na primavera, e de 1224,6kW.h no Aviário (VPNPE) e 816,4kW.h no Aviário (VPNN) no verão. Considerando o valor do kWh cobrado na zona rural da região de estudo (R\$ 0,45 – Energisa (2019)), e o potencial de economia de custos com energia elétrica estimado para cada ciclo experimental avaliado, estima-se uma economia de R\$ 407,1 e R\$ 271,4 nos aviários (VPNPE) e (VPNN), respectivamente, durante o inverno, de R\$ 652,4 no Aviário (VPNPE) e R\$ 434,9 no Aviário (VPNN) na primavera, e R\$ 551,1 no Aviário (VPNPE) e R\$ 367,4 no Aviário (VPNN) no verão.

O maior potencial de economia de energia elétrica para o acionamento dos sistemas de ventilação em ambos os aviários estudados foi verificado durante o lote avaliado na primavera, o que pode ser explicado pelo fato de que neste período do ano as temperaturas verificadas na região oscilam entre as temperaturas verificadas nos dois extremos (inverno e verão), aumentando a tendência de ocorrência de horários com temperaturas dentro da faixa recomendada como ideal para a utilização do acondicionamento térmico natural da instalação.

3.4 Conclusões

1 - O consumo de energia demandado pelo sistema de ventilação no Aviário (VPNPE), durante a fase de pós-aquecimento, foi maior que no Aviário (VPNN), independentemente do ciclo experimental avaliado (em média 34% maior no inverno; 9% maior na primavera e 30% maior no verão), em virtude das especificações (potência dos motores de acionamento) de cada sistema.

2 – O potencial de economia nos custos com energia elétrica no Aviário (VPNPE) foi de R\$ 407,1, R\$ 652,4 e R\$ 551,1 no inverno, primavera e verão respectivamente. No Aviário (VPNN) o potencial de economia nos custos com energia elétrica foi de R\$ 271,4, R\$ 434,9 e R\$ 367,4, no inverno, primavera e verão respectivamente.

3 - As maiores porcentagens de potencial de economia de energia elétrica para o acionamento do sistema de ventilação durante a fase de pós-aquecimento, nos dois aviários estudados, foram verificadas na estação intermediária (primavera).

4 - Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se observar que nos aviários estudados apresentam uma grande demanda de energia elétrica para o acionamento dos sistemas de ventilação durante a fase de pós-aquecimento, independente da época do ano, pois funcionam 100% do tempo fechados e com o sistema de ventilação ligado, porém verifica-se também há possibilidade dos avicultores aproveitarem as condições climáticas da região, para um manejo mais racional do sistema produtivo, aproveitando os períodos onde a temperatura externa se encontra dentro da faixa considerada ideal para a climatização natural da instalação, e não há a necessidade de utilização de sistemas artificiais de climatização, para economizar energia elétrica.

3.5 Referências

Amec Foster Wheeler. **AGRICULTURAL BUILDING VENTILATION SYSTEMS**. 2016. Disponível em: <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/farm-management/structures-and-mechanization/300-series/306412-1_ventilation_report.pdf>

ASHRAE (Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **Ventilation and Infiltration**. In: ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 16, 2017.

Bueno, L.; Rossi, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos de corte quanto a energia, ambiência e produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.497 – 504. 2006.

Ceratto, V. Custo de energia das granjas – O item de maior custo de produção para os integrados da avicultura de corte. **Avicultura Industrial**. 2016. Available on: <<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/custo-de-energia-das-granjas-o-item-de-maior-custo-de-producao-para-os/20160516-095510-c801>>

Coelho, D. J. R. Mapeamento e análise espacial do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistemas verticais. Viçosa: UFV, 2014. **Dissertação (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2014.

Energisa. **Tipos de tarifas**. 2019. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>

Medeiros, C. M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. Viçosa: UFV, 2001. **Tese (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2001.

Migliorini, E. Caracterização da lucratividade da atividade avícola por meio de indicadores de desempenho ligados às instalações elétricas. Dois Vizinhos – PR. 38p. **Trabalho de conclusão de curso (Zootecnia)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

Rajaniemi, M.; Ahokas, J. A case study of energy consumption measurement system in broiler production. **Agronomy Research Biosystem Engineering** Special Issue 1, p.195-204. 2012.

Silva, E. G.; Santos, A. C.; Ferreira, C. L. S.; Sousa, J. P. L.; Rocha, J. M. L.; Silveira Júnior, O. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.14, n.1, p.132-141, 2013.

Tinôco, I. F. F. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Rev. Bras. Cienc. Avic.**, vol.3, n.1, p.01-26, 2001.

CAPÍTULO IV

Determinação dos parâmetros Graus-Dias de Aquecimento e Resfriamento e estimativa da carga de resfriamento e aquecimento para aviários de frangos de corte

Resumo: A análise do efeito do clima no controle do ambiente térmico da construção, utilizando parâmetros como graus-dias de aquecimento e de resfriamento, horas ou dias de aquecimento e de resfriamento, é de fundamental importância no dimensionamento e no planejamento do manejo, de sistemas de condicionamento térmico da instalação, auxiliando na análise da demanda energética e na estimativa das cargas de aquecimento e resfriamento. O objetivo desta pesquisa foi determinar os graus-dia de aquecimento e resfriamento, para cada semana do ano, verificar o número de dias no ano com temperatura média diária dentro da faixa considerada ideal para o conforto térmico das aves, e estimar a carga anuais de aquecimento e de resfriamento, para aviários localizados na região de Ervália - MG. Essa análise foi baseada na relação entre as temperaturas recomendadas para o conforto térmico de frangos de corte em diferentes etapas do ciclo de produção e as temperaturas médias diárias interpoladas para a região de interesse, considerando o período de (2014 - 2018). A partir da caracterização climática da região de estudo, verificou-se que considerando as exigências térmicas das aves na fase aquecimento, houve demanda exclusivamente por aquecimento na primeira semana de vida das aves, enquanto que a partir da segunda semana foi possível verificar períodos com temperatura dentro da faixa de conforto térmico para as aves e alguns períodos com demanda por resfriamento na última semana da fase de aquecimento. Na fase de pós-aquecimento, observou-se apenas demanda por resfriamento, que ocorreu apenas no período mais quente do ano (final da primavera/ verão). Com relação às cargas de aquecimento e resfriamento, observou-se que conforme as aves vão crescendo, a demanda por aquecimento da instalação vai diminuindo, enquanto a demanda por resfriamento aumenta. A partir da segunda semana de vida das aves, é possível verificar alguns dias onde a temperatura média diária se encontra dentro da faixa de valores considerados ideais para o conforto térmico das aves, onde seria possível promover a climatização natural da instalação.

Palavras-chaves: Aquecimento, exigências térmicas de frangos de corte, resfriamento, temperatura.

Abstract: The analysis of the effect of climate on the control of the thermal environment of the building, using parameters such as heating and cooling degree days, heating and cooling hours or days, is of fundamental importance in the design and management planning, of thermal conditioning systems of the barns, assisting in the analysis of energy demand and the estimation of heating and cooling loads. The objective of this research was to determine the heating and cooling degree-days for each week of the year, to verify the number of days in the year with average daily temperature within the range considered ideal for the thermal comfort of the broilers, and to estimate the annual load of heating and cooling, for poultry houses located in the region of Ervália - MG. This analysis was based on the relationship between the recommended temperatures for the thermal comfort of broilers at different stages of the production cycle and the interpolated daily average temperatures for the region of interest, considering the period of (2014 - 2018). From the climatic characterization of the study region, it was found that considering the thermal requirements of the birds in the brooding phase, there was demand exclusively for heating in the first week of life of the birds, while from the second week it was possible to verify periods with temperature within the range of thermal comfort for the birds and some periods with demand for cooling in the last week of the brooding phase. In the growout phase, there was only demand for cooling, which occurred only in the hottest period of the year (late spring / summer). With respect to heating and cooling loads, it was observed that as the birds grow, the heating demand of the facility decreases while the demand for cooling increases. From the second week of bird life, it is possible to check some days where the average daily temperature is within the range considered ideal for the thermal comfort of birds, where it would be possible to promote the natural climate of the facility.

Keywords: Broiler thermal requirement, cooling, heating, temperature.

4.1 Introdução

Frangos de corte são animais que são fortemente influenciados pelas condições térmicas do ambiente ao qual estão inseridos, uma vez que estão em constante troca térmica com o ambiente, buscando manter o seu balanço térmico (Abreu e Abreu, 2011). Nesse sentido na busca de minimizar os efeitos do ambiente térmico sobre os animais, obtendo um ambiente ideal para a criação das aves de corte, novas concepções de aviários, com sistemas de climatização cada vez mais tecnificados, vem sendo adotados na avicultura brasileira (Rodrigues e Yada, 2018; Mascarenhas et al., 2018).

Segundo Liang et al. (2009), em um aviário de frangos de corte típico, há uma demanda por energia elétrica para o acionamento dos sistemas de alimentação, iluminação, ventilação e resfriamento, e uma demanda de combustível para o aquecimento. Ainda de acordo com os mesmos autores, essa demanda do sistema produtivo de frangos de corte, tanto de energia elétrica quanto de combustível, varia ao longo do ano, em função principalmente da natureza dinâmica dos ciclos de produção e das variações sazonais no clima.

Atilgan et al. (2012), apontam que um parâmetro importante que deve ser conhecido para avaliar o custo operacional de qualquer instalação é o consumo anual de energia, que pode ser projetado para fins de aquecimento ou resfriamento da instalação. Para projetar a qualidade das condições de conforto térmico dentro das instalações, a partir de sistemas de aquecimento e refrigeração, os parâmetros meteorológicos da região onde a instalação está localizada devem ser analisados com precisão, bem como a relação desses parâmetros com as demandas térmicas dos frangos de corte nas diferentes fases do seu ciclo produtivo.

Nesse sentido parâmetros como graus-dia ou graus-hora de aquecimento e de resfriamento, horas ou dias de aquecimento e de resfriamento, são de fundamental importância no dimensionamento e no planejamento do manejo, de sistemas de condicionamento térmico da instalação, auxiliando na análise da demanda energética e na estimativa das cargas de aquecimento e resfriamento. Embora existam vários métodos disponíveis na literatura para calcular as projeções anuais de demanda de energia dos sistemas de condicionamento térmico da instalação, o mais básico e um dos mais empregados é o Método Graus-Dia ou Graus-Hora (Satman & Yalcinkaya, 1999), que é um método baseado na influência da diferença

entre as temperaturas interna e externa nas perdas de energia do edifício (Pasa et al., 2012). Esse método tem sido utilizado em alguns estudos (Atilgan & Akyuz, 2007; Atilgan et al., 2012 e Kucuktopcu et al., 2017) para a análise de demandas de aquecimento e resfriamento em instalações de frangos de corte, com base nas condições climáticas da região onde essas instalações estão localizadas e nos requisitos térmicos de frangos de corte em diferentes estágios de seu ciclo de produção, provando ser um método prático e com resultados confiáveis.

Com base no exposto, o objetivo desta pesquisa foi determinar os parâmetros Graus-dia de aquecimento e resfriamento, para cada semana do ano, verificar o número de dias no ano com temperatura média diária dentro da faixa considerada ideal para o conforto térmico das aves, e estimar a carga anuais de aquecimento e de resfriamento, para aviários localizados na região de Ervália - MG. Essa análise foi baseada na relação entre as temperaturas recomendadas para o conforto térmico de frangos de corte em diferentes etapas do ciclo de produção e as temperaturas médias diárias interpoladas para a região de interesse (Ervália – MG), considerando o período de (2014 - 2018).

4.2 Metodologia

Considerou-se para esse estudo, a caracterização climática do município de Ervália – MG, situado na Zona da Mata Mineira, a 730 metros de altitude, sob a latitude 20° 50' 24" S e longitude 42° 39' 26" W. A região possui clima subtropical de altitude, sendo classificado como do tipo Cwa (clima subtropical de inverno seco) pela classificação de Koppen, apresentando temperatura média anual de 19,4°C.

Um banco de dados climatológico foi obtido nas Estações Meteorológicas Automáticas de Observação de Superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), contendo a série histórica de temperaturas médias diárias de um período de cinco anos (2014 - 2018). Foi considerado esse período (2014 – 2018) para a análise, em função deste, ser o período onde se verificou a maior consistência nos dados registrados nas estações meteorológicas utilizadas para a elaboração do banco de dados climatológicos. Como não existe uma Estação Meteorológica do INMET localizada exatamente na área de interesse, o estudo foi baseado em uma análise das séries históricas obtidas em cinco estações próximas à região da Ervália, com a estação mais próxima localizada a 25 km de distância e a mais distante a 132

km, com elevações variando entre 124 a 940 m. A descrição das Estações Meteorológicas do INMET utilizadas como base para o levantamento climático da área de interesse, bem como suas distâncias ao município de Ervália-MG, pode ser vista na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Estações Meteorológicas do INMET, suas coordenadas geográficas e distância até a região de estudo (Ervália – MG).

| Estação | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Distância até Ervália (km) |
|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------------------|
| Viçosa | 20°45' | 42°51' | 712,2 | 25,0 |
| Caparaó | 20°30' | 41°53' | 843,2 | 93,4 |
| Juiz de Fora | 21°45' | 43°21' | 940,0 | 125,0 |
| Itaperuna | 21°11' | 41°53' | 123,6 | 90,0 |
| Cordeiro | 22°1' | 42°21' | 505,9 | 132,0 |

A partir da base de dados climáticos das estações do INMET, a temperatura média diária do ar referente à região de interesse (Ervália-MG) foi determinada por interpolação, utilizando o Método IDW (Inverse Distance Weighted), que segundo Pasini et al. (2015) é um interpolador determinístico univariado de medidas ponderadas, com pesos baseados em distâncias quadradas entre o ponto de interesse e as estações disponíveis, e calculados usando a Equação 4.1.

$$T = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^2} \times T_j \right)}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{d_{ij}^2} \right)} \quad (4.1)$$

Onde:

T – Valor da temperatura interpolado (°C);

T_j – Valor da temperatura amostrado (°C);

d_{ij} – Distância entre a Estação Meteorológica do INMET considerada até o município de Ervália (Km);

n – Numero de Estações Meteorológicas consideradas na interpolação;

Para a análise da necessidade de climatização artificial de instalações avícolas localizadas na região, tanto em relação ao aquecimento quanto ao resfriamento, utilizou-se o Método dos Graus-dia. Esse método relaciona a temperatura média

diária da região com uma temperatura de equilíbrio ou temperatura base, que corresponde a temperatura na qual não há necessidade de aquecimento ou resfriamento da instalação. As temperaturas de equilíbrio adotadas no presente estudo são equivalentes às exigências térmicas das aves e variam de acordo com o seu estágio produtivo. Os valores definidos como temperatura de base para a análise da necessidade de climatização da instalação (T_{base_aq} e T_{base_resf}), em função das exigências térmicas das aves nas diferentes etapas do seu ciclo produtivo estão descritos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Temperaturas de equilíbrio (T_{base_aq} e T_{base_resf}), baseadas nas exigências térmicas das aves nos diferentes estágios do ciclo produtivo, para o cálculo da necessidade de aquecimento e resfriamento da instalação.

| Idade dos animais (semanas) | T_{base_aq} (°C) | T_{base_resf} (°C) |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | 27 | 30 |
| 2 | 24 | 27 |
| 3 | 21 | 24 |
| 4 – 6 | 15 | 24 |

Adaptado de: (Cândido et al. (2016); Cassuce et al. (2013); Tinôco (2001); Medeiros (2001))

Os parâmetros graus-dia de aquecimento (GDA), graus-dia de resfriamento (GDR), dias de demanda de aquecimento (NDA) e dias de demanda de resfriamento (NDR) foram calculados para cada semana do ano. Esses parâmetros foram calculados usando as Equações 4.2 a 4.5, com base na metodologia descrita por ASHRAE (2013), relacionando os registros históricos dos dados diários de temperatura média, interpolados para a região de estudo, com as temperaturas base de aquecimento e resfriamento, mostradas na Tabela 4.2. Esses parâmetros foram calculados para cada semana do ano e para cada etapa do ciclo de produção de frango, ou seja, foram calculados 52 valores semanais, considerando o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro, em que a semana 1 representa o período de 1 a 7 Janeiro e semana 52 representam o período de 25 a 31 de dezembro, de GDA, GDR, NDA e NDR, para cada nível de demanda térmica de frangos, considerando a idade dos animais em semanas.

$$GDA_{semana}(idade) = \sum_{i=1}^n (T_{base_aq(idade)} - T_{ob_i})^+ \quad (4.2)$$

Onde:

$GDA_{semana(idade)}$ – Graus-dia de aquecimento na semana avaliada, calculados em função da demanda térmica das aves, considerando a idade das aves em semanas (°C.dia)

$T_{base_aq(idade)}$ – Temperatura base para aquecimento em função da idade das aves em semanas (°C), conforme Tabela 4.2

$T_{ob(i)}$ – Temperatura ambiental média observada na região no dia i (°C);

n – Número de dias da semana;

⁺ - O sobrescrito positivo, indica que apenas os valores positivos da diferença ($T_{base} - T_{ob}$) são considerados para o somatório.

$$GDR_{semana(idade)} = \sum_{i=1}^n (T_{ob_i} - T_{base_resf(idade)})^+ \quad (4.3)$$

Onde:

$GDR_{semana(idade)}$ – Graus-dia de resfriamento na semana avaliada, calculados em função da demanda térmica das aves, considerando a idade das aves em semanas (°C.dia);

$T_{base_resf(idade)}$ – Temperatura base para resfriamento em função da idade das aves em semanas (°C), conforme Tabela 4.2

⁺ - O sobrescrito positivo, indica que apenas os valores positivos da diferença ($T_{ob} - T_{base}$) são considerados para o somatório.

$$NDA_{semana(idade)} = \sum_{i=1}^n NA_{(T_{base_aq(idade)}, T_{ob})_i} \quad (4.4)$$

Onde:

$NDA_{semana(idade)}$ – Número de dias com demanda de aquecimento na semana avaliada em função da exigência térmica de frangos de corte considerada a idade das aves em semanas;

$NA_{(T_{base_aq}, T_{ob})_i}$ – Necessidade de aquecimento no dia i em função da diferença entre a Temperatura base e a Temperatura observada, sendo: ($NA_i = 1$ se $(T_{base} - T_{ob}) > 0$ e $NA_i = 0$ se $(T_{base} - T_{ob}) \leq 0$)

$$NDR_{semana(idade)} = \sum_{i=1}^n NR_{(T_{ob}, T_{base_resf(idade)})_i} \quad (4.5)$$

Onde:

$NDR_{\text{semana (idade)}}$ – Número de dias com demanda de resfriamento na semana avaliada em função da exigência térmica de frangos de corte considerada a idade das aves em semanas;

$NR_{(T_{ob}, T_{base_resf})i}$ – Necessidade de resfriamento no dia i em função da diferença entre a Temperatura observada e a Temperatura base, sendo: ($NDR_i = 1$ se $(T_{ob} - T_{base}) > 0$ e $NDA_i = 0$ se $(T_{ob} - T_{base}) \leq 0$)

As cargas de aquecimento e resfriamento do aviário durante um lote de criação podem ser determinadas relacionando os parâmetros de graus-dia de aquecimento e resfriamento, calculados para esse lote, com a capacidade de isolamento térmico da instalação, de acordo com as Equações 4.6 e 4.7 apresentadas pela ASHRAE (2017).

$$Q_{aq_lote} = GDA_{lote} \times \left(24 \frac{h}{\text{dia}} \right) \times \left(\sum UA + I \times V \times CCV_{ar} \right) \quad (4.6)$$

Onde:

Q_{aq_lote} – Carga de aquecimento exigida no aviário para o lote avaliado (kW.h)

GDA_{lote} – Graus-dia de aquecimento acumulado no lote avaliado (K.dia)

U – Coeficiente global de transferência de calor ($W.m^{-2}.K^{-1}$)

A – Área de troca de calor de componentes construtivos (m^2)

I – Número de renovações de ar por hora

V – Volume interno da instalação (m^3)

CCV_{ar} – Capacidade de Calor Volumétrico do ar ($J.m^{-3}.K^{-1}$)

$$Q_{resf_lote} = GDR_{lote} \times \left(24 \frac{h}{\text{dia}} \right) \times \left(\sum UA + I \times V \times CCV_{ar} \right) \quad (4.7)$$

Onde:

Q_{resf_lote} – Carga de resfriamento exigida no aviário para o lote avaliado (kW.h)

GDR_{lote} – Graus-dia de resfriamento acumulado no lote avaliado (K.dia)

Para a análise da demanda de climatização de um aviário localizado na região do estudo, foi feita a estimativa anual da demanda de aquecimento e resfriamento com base nos parâmetros graus-dia de aquecimento e resfriamento calculados. Para essa estimativa, foram consideradas as características construtivas dos aviários

comumente usados na região (12 metros de largura por 145 metros de comprimento e 3 metros de altura; com teto de telha de fibrocimento e forro de poliuretano; fechamento de alvenaria nas cabeceiras; e fechamento lateral com cortinas de poliuretano).

4.3 Resultados e discussão

A distribuição dos dados médios diários de temperatura para o período histórico (2014 - 2018), interpolados para a região do estudo (Ervália), com base nos dados das estações meteorológicas do INMET, é mostrada na Figura 4.1. Esses dados foram utilizados para o cálculo dos parâmetros graus-dia e número de dias com demanda de aquecimento e resfriamento.

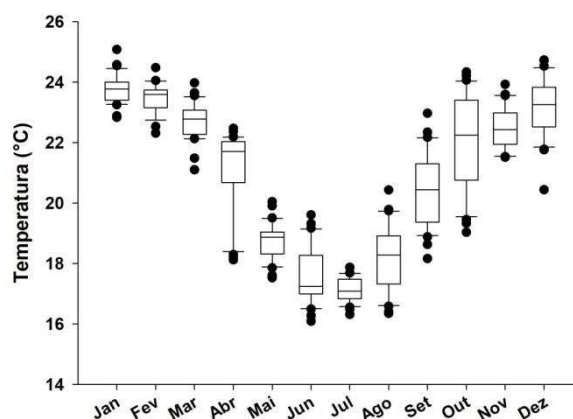


Figura 4.1 - Distribuição dos dados de temperatura média diária, referentes ao período histórico de (2014 - 2018) na região de estudo (Ervália)

Como pode ser visto na Figura 4.1, o período mais quente do ano, para a região de estudo, compreende os meses de outubro a março, sendo janeiro, o mês com as maiores temperaturas médias diárias interpoladas. Os meses de abril a setembro correspondem ao período mais frio do ano na região estudada e as menores temperaturas médias diárias interpoladas foram observadas em julho. Isso mostra a tendência de que as maiores demandas de aquecimento em um aviário localizado na região de estudo ocorram entre os meses de abril a setembro, enquanto as maiores demandas de resfriamento tendem a ocorrer entre outubro e março, independentemente do nível da exigência térmica dos frangos considerado.

Os parâmetros graus-dia de aquecimento, graus-dias de resfriamento, dias com demanda de aquecimento e dias com demanda de resfriamento foram calculados para cada estágio do ciclo de produção de frangos (idade em semanas) para cada semana do ano. Para esta análise, os dados climáticos da região de estudo,

apresentados na Figura 4.1, foram relacionados aos requisitos térmicos de frangos de corte mostrados na Tabela 4.2, e os resultados são mostrados nas Figuras 4.2 e 4.3.

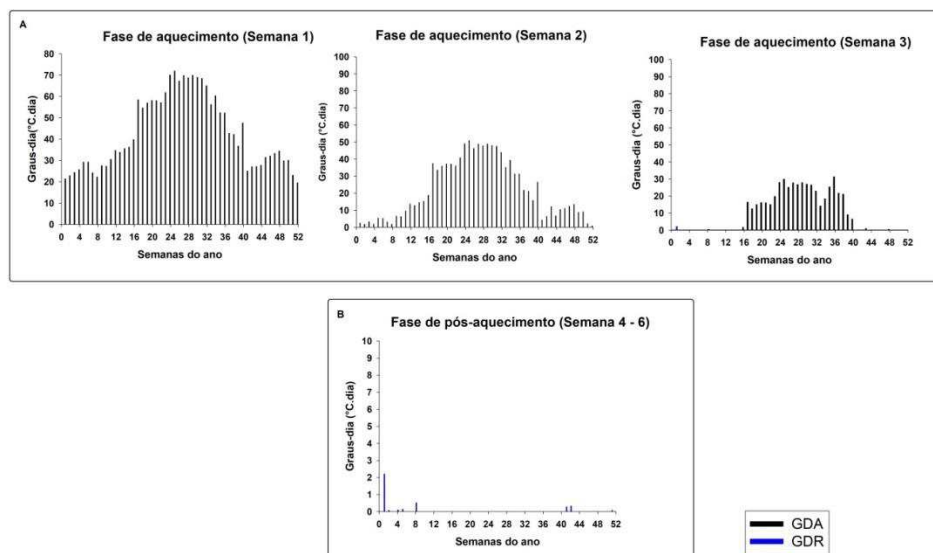


Figura 4.2 – Valores acumulados semanalmente de graus-dia de aquecimento (GDA) e graus-dia de resfriamento (GDR) [°C.dia]. [A] Valores de GDA e GDR calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de aquecimento; [B] Valores de GDA e GDR calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de pós-aquecimento.

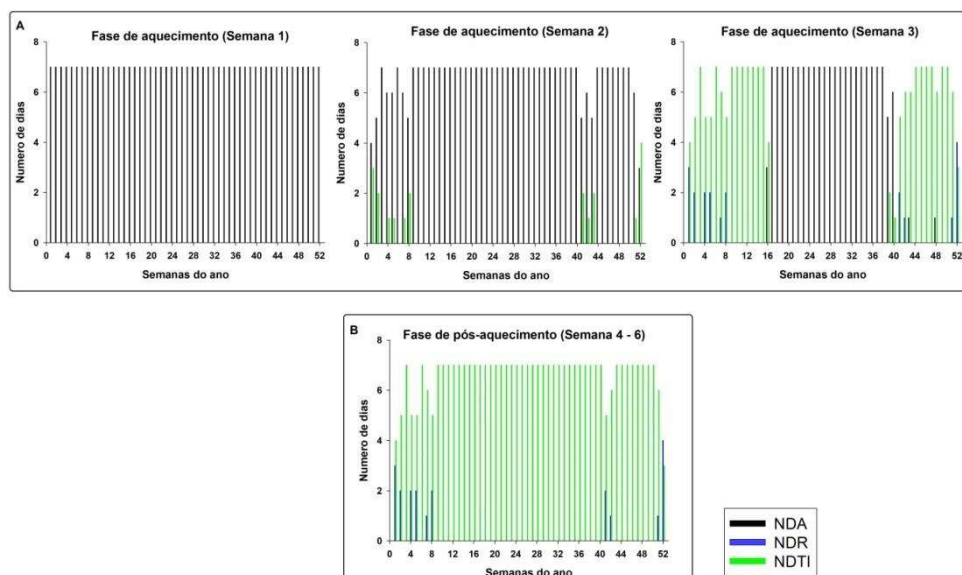


Figura 4.3 – Número de dias totais de aquecimento (NDA), de resfriamento (NDR) e de dias com temperatura ideal (NDTI). [A] Valores de NDA, NDR e NDTI calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de aquecimento; [B] Valores de NDA, NDR e NDTI calculados em função das exigências dos frangos de corte na fase de pós-aquecimento.

Observa-se nas Figuras 4.2 e 4.3 que considerando as exigências das aves na primeira semana da fase de aquecimento, há uma demanda exclusiva por aquecimento em aviários instalados na região de estudo (Ervália – MG), em todas as

épocas do ano. Com relação às exigências térmicas das aves na segunda semana da fase de aquecimento, verifica-se que apesar de haver demanda apenas por aquecimento nos aviários instalados na região, há também períodos onde a temperatura média diária interpolada para a região, fica dentro da faixa considerada ideal para o conforto térmico das aves. Considerando as exigências térmicas das aves na última semana da fase de aquecimento, observa-se períodos do ano com maior demanda por aquecimento, períodos do ano com demanda por resfriamento, bem como períodos onde a temperatura média diária interpolada para a região estaria dentro da faixa considerada ideal para o conforto térmico das aves.

Essa demanda única por aquecimento considerando as exigências térmicas das aves na primeira e segunda semana da fase de aquecimento, pode ser atribuída ao fato de que as demandas térmicas de frangos de corte nessa idade são por temperaturas mais elevadas, entre 27 e 30°C na primeira semana e entre 24 e 27°C na segunda semana, enquanto que a temperatura média diária da região foi próxima a 21°C. Com relação às exigências térmicas das aves na última semana da fase de aquecimento, verifica-se que no período frio do ano houve demanda apenas por aquecimento, enquanto que no período quente, observou-se dias com demanda por aquecimento, dias com demanda por resfriamento e dias com temperatura na faixa considerada ideal para o conforto térmico das aves. Essa menor demanda por aquecimento, considerando as exigências térmicas das aves na terceira semana de vida, pode ser explicada pela relação entre a faixa de temperatura recomendada para o conforto das aves nessa idade (21 a 24°C) e os valores de temperatura diária média interpolada para a região, durante esse período do ano, que ficou na faixa dos 25°C.

Esses resultados evidenciam que há uma demanda maior por calor suplementar durante a fase inicial do ciclo produtivo, em especial na primeira e segunda semana de vida das aves e no período mais frio do ano, uma vez que os pintos são mais sensíveis a baixas temperaturas durante essa fase (Barbosa Filho, 2011, Vigoderis et al., 2018)

Baseado nas exigências térmicas das aves na fase de pós-aquecimento, que compreende o período entre a quarta e a sexta semana de vida das aves, observa-se demanda por resfriamento apenas no período mais quente do ano (final da primavera / verão) que compreende os períodos entre a 40^a e 52^a semanas do ano e entre a 1^a e 12^a semanas do ano. Nos demais períodos observa-se que a

temperatura média diária interpolada para a região ficou dentro da faixa de valores adotados como ideal para o conforto das aves nessa idade (15 a 24°C).

Atilgan et al. (2012) determinaram dados de graus-dia de aquecimento e resfriamento para aviários, considerando as exigências térmicas de frangos de corte em cada estágio do seu ciclo de produção e as condições climáticas em diferentes locais da Turquia. Os autores observaram que os valores de graus-dia de aquecimento começaram a diminuir à medida que as aves cresciam e exigiam temperaturas mais amenas para seu conforto térmico, enquanto os valores de graus-dia de resfriamento aumentavam. Esse comportamento dos valores dos graus-dia de aquecimento e resfriamento calculados para os diferentes estágios do ciclo produtivo de frangos de corte foi semelhante neste estudo.

Observa-se também na presente pesquisa que os maiores valores de graus-dia de aquecimento, foram verificados no período frio do ano. Fato semelhante ao verificado por Kucuktopcu et al. (2017), que avaliaram a necessidade de resfriamento e aquecimento em aviários para frangos de corte, localizados no norte da Turquia, durante três lotes (no verão, inverno e final da primavera), com base no método graus-dia, e constataram que durante o inverno, houve uma maior demanda por aquecimento na instalação. Nesse ponto, destaca-se que, considerando os diferentes estágios da demanda térmica dos frangos, quanto menor a temperatura ambiente média diária, maior o valor de graus-dia de aquecimento calculado, o que representa uma maior demanda por aquecimento na instalação (Atilgan & Akyuz, 2007).

Os parâmetros graus-dia de aquecimento e resfriamento calculados em função dos diferentes níveis de exigência térmica das aves, para cada semana do ano, serviram de base para a estimativa das cargas anuais de aquecimento e resfriamento de um aviário alocado na região de estudo. A estimativa anual da carga de aquecimento e resfriamento para cada semana de vida das aves pode ser vista na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Estimativa anual em (MW.h) da carga de aquecimento (Q_{aq}) e da carga de resfriamento (Q_{resf}), considerando as exigências térmicas para cada semana de vida das aves.

| | Fase de aquecimento | | | Fase de pós-aquecimento | | |
|------------|---------------------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 |
| Q_{aq} | 363,01 | 185,22 | 82,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Q_{resf} | 0,00 | 0,00 | 0,98 | 1,76 | 1,76 | 1,76 |

Observa-se na Tabela 4.3 que conforme as aves vão ficando mais velhas, a demanda por aquecimento da instalação vai diminuindo, ao passo que a demanda por resfriamento vai aumentando. Observa-se ainda na Tabela 4.3 que há uma maior exigência anual por aquecimento da instalação do que por resfriamento, o que pode ser explicado pelas características climáticas da região de estudo, onde a temperatura diária média anual fica na faixa dos 21°C. O consumo de energia elétrica e combustível anual, demandado pelos sistemas de climatização utilizados durante a fase de aquecimento e de pós-aquecimento (aquecedores, ventiladores e sistema de resfriamento evaporativo) pode ser calculado dividindo-se a carga aquecimento e de resfriamento estimadas, pela eficiência desses sistemas (ASHRAE, 2017).

Observa-se na Figura 4.3 que a partir da segunda semana de vida das aves, é possível verificar alguns dias onde a temperatura média diária se encontra dentro da faixa de valores considerados ideais para o conforto térmico das aves, onde seria possível promover a climatização natural da instalação, ou seja, entre a temperatura de base de aquecimento e a temperatura de base de resfriamento. Com base nos requisitos térmicos para frangos de corte na fase de aquecimento, verificou-se que em aproximadamente 5,5% do ano (20 dias) e 47,7% do ano (174 dias), considerando a as demandas térmicas de frangos de corte na segunda e terceira semanas de vida, respectivamente, a temperatura média diária interpolada para a região estudada, estavam dentro da faixa que indica não haver necessidade de uso de sistemas mecânicos de controle climático no aviário. Na fase de pós-aquecimento, verificou-se que em aproximadamente 94% do ano (344 dias) a temperatura média diária interpolada para a região estudada, estavam dentro da faixa de valores onde pode ser considerado para o uso de sistemas naturais de controle de temperatura no aviário.

É importante ressaltar que essa avaliação da possibilidade de aproveitamento das condições climáticas da região para a utilização de sistemas naturais de acondicionamento térmico, foi realizada considerando dados de temperaturas médias diárias. Nesse sentido deve-se observar que mesmo nos dias onde a temperatura média diária ficou dentro da faixa considerada como ideal para o conforto das aves, pode ter havido horários onde a temperatura registrada ficou acima ou abaixo da faixa de conforto para as aves, ou seja, onde não seria possível aproveitar as condições climáticas da região para promover o acondicionamento térmico natural da instalação. Neste caso, é recomendado então para uma projeção mais detalhada do potencial de aproveitamento das condições climáticas da região para a utilização de controle térmico natural nos aviários, fazer essa mesma análise porém considerando a variação horária dos dados de temperatura média da região, além de associar esses dados com outras variáveis, como umidade relativa e velocidade do vento.

4.4 Conclusões

1 – Na fase de aquecimento verifica-se demanda exclusivamente por aquecimento na primeira semana de vida das aves. Na segunda semana da fase de aquecimento observa-se períodos do ano com demanda por aquecimento e períodos com temperatura média diárias dentro da faixa de conforto para as aves nessa idade. Na última semana da fase de aquecimento pode-se observar períodos com demanda por aquecimento, por resfriamento e com temperaturas dentro da faixa de conforto para as aves nessa idade.

2 – Na fase de pós-aquecimento, observou-se apenas demanda por resfriamento. Essa demanda ocorreu apenas no período mais quente do ano (final da primavera/ verão). Nos demais períodos verificou-se que a temperatura média diária ficou dentro da faixa considerada ideal para o conforto das aves nessa idade.

3 – Com relação às cargas de aquecimento e resfriamento, observou-se que conforme as aves vão crescendo, a demanda por aquecimento da instalação vai diminuindo, enquanto a demanda por resfriamento aumenta.

4 – A partir da segunda semana de vida das aves, é possível verificar alguns dias onde a temperatura média diária se encontra dentro da faixa de valores

considerados ideais para o conforto térmico das aves, onde seria possível promover a climatização natural da instalação.

4.5 Referências

Abreu, V. M. N.; Abreu, P. G. DE. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1-14. 2011.

ASHRAE (Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **Energy estimating and modeling methods**. In: ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 19. 2017.

ASHRAE (Am. Soc. of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). **Climatic design information**. In: ASHRAE Handbook – Fundamentals, Chapter 14. 2013.

Atilgan, A.; Akyuz, A. The investigation of Heating and Cooling Days with the Method of Degree-day in Broiler Poultry Housing. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.2, n.3, p.140-145. 2007.

Atilgan, A.; Yücel, A.; Öz, H. Determination of heating and cooling day for broiler housing: Isparta case. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.10, p.353-356. 2012.

Barbosa Filho, J. A. D. Ambiência e Bem-estar animal na avicultura. **Revista Veterinária e Zootecnia em Minas**, Artigo Técnico 6, v.109, p.38–46. 2011.

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

Cassuce, D. C.; Tinôco, I. F. F.; Baêta, F. C.; Zolnier, S.; Cecon, P. R.; Viera, M. F. F. A. Thermal comfort temperature up date for broiler chicken up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p. 28-36, 2013.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

Kucuktopcu, E.; Cemek, B.; Banda, P. Determination of poultry house indoor heating and cooling days using degree-day method. **Agronomy Research**, v.15, n.3, p.760-766. 2017.

Liang, Y.; Tabler, G. T.; Watkins, S. E.; Xin, H.; Berry, I. L. Energy Use Analysis of Open-Curtain vs. Totally Enclosed Broiler Houses in Northwest Arkansas. **Applied Engineering in Agriculture**, v.25, n.4, p.577-584. 2009.

Mascarenhas, N. M. H.; Costa, A. N. L.; Pereira, M. L. L.; Caldas, A. C. A.; Batista, L. F.; Gonçalves, E. L. Thermal conditioning in the broiler production: challenges and possibilities. **J. Anim Behav Biometeorol**, v.6, p. 52-55. 2018.

Medeiros, C. M. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. Viçosa: UFV, 2001. **Tese (Engenharia Agrícola)**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2001.

Pasa, C. C. M. U. ; Pasa, L. A. ; Braghini Junior, A. ; Souza, S. N. M. Avaliação da eficiência energética em edificações e sua relação com os materiais construtivos empregados. **Revista Produção Online** , v.12, n.1, p. 229-247. 2012.

Pasini, M. P. B.; Lúcio, A. D.; Fronza, D.; Weber, L. S. Krigagem ordinária e inverso da distância ponderada aplicados na espacialização da população da mosca-do-figo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.3, p.452-459. 2015.

Rodrigues, M. V.; Yada, M. M. Diferenças entre criação de frango de corte convencional e o sistema dark house. **Revista Interface Tecnológica**, v.15, n.2, p.360-369. 2018.

Satman. A.; Yalcinkaya, N. Heating and cooling degree-hours for Turkey. **Energy**, v.24, p.833-840. 1999.

Tinôco, I. F. F. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Rev. Bras. Cienc. Avic.**, vol.3, n.1, p.01-26, 2001.

Vigoderis, R. B.; Silva, J. M.; Guiseline, C.; Pandorfi, H.; Vieria, D. V. Broilers thermal comfort and performance utilizing two different wood-burning heating system. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, e39194. 2018.

CONCLUSÕES GERAIS

Considerando as faixas de valores de temperatura definidos como referencia para o conforto térmico de frangos de corte em diferentes fases do ciclo produtivo e os dados de temperatura registrados em ambos os aviários estudados durante os três ciclos experimentais avaliados, pode-se constatar a possibilidade de uma melhor adequação do manejo dos sistemas de climatização (aquecimento, resfriamento e ventilação) utilizados nos aviários estudados, tanto na fase de aquecimento quanto na de pós-aquecimento, visando à economia de combustível e eletricidade.

Relacionando as exigências térmicas das aves nas diferentes fases do ciclo produtivo com as características climáticas da região (temperatura), pode-se observar grandes períodos onde a temperatura externa (abrigo meteorológico) se encontrava dentro da faixa de valores estabelecidos como ideais para o conforto térmico das aves, indicando que a região tem um bom potencial para a implementação do sistema híbrido de condicionamento térmico, aproveitando esses períodos para a climatização natural da instalação.