

ESTUDO DO CONTROLE TÉRMICO EM AVIÁRIOS DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Vitor Hugo Tokenshi Ambrosio – vitor.ta2013@gmail.com

Antonio Luis de Campos Mariani – camposmariani@gmail.com

Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, www.poli.usp.br

A2 - Aplicações Industriais e Especiais

Resumo. A produção de aves para corte no Brasil é um setor importante da indústria nacional, que possui destaque mundial. Para colaborar com este setor industrial é necessário estudar a influência das características térmicas e higrométricas às quais as aves são sujeitas durante o seu período de vida. Esta consideração e preocupação é recente, uma vez que o foco tradicional da indústria e dos produtores de aves de corte é a nutrição e a prevenção de doenças. Contudo atualmente sabe-se que há outros fatores relacionados ao ambiente em que as aves vivem, o aviário, que influenciam seu desenvolvimento. O estudo proposto detalha as condições de conforto térmico e higrométrico do ambiente no qual as aves crescem até o abatimento. Através de pesquisa bibliográfica foram obtidas informações acerca das características térmicas das aves, como também foram identificadas as condições termo-higrométricas nas quais elas atingem estado de conforto térmico, ou de desconforto, ou ainda de risco à vida, para diferentes fases de seu desenvolvimento. A partir de dados obtidos de um aviário em operação, adotado como estudo de caso, foi feito o estudo de carga térmica e a simulação da adoção de controle do ambiente para condições em que se aplicam ventilação e ventilação evaporativa. A simulação do comportamento térmico e higrométrico do aviário de referência foi feito em condições climáticas típicas do local, possibilitando a análise comparativa para os diferentes tipos de ventilação aplicados ao estudo. Os resultados obtidos foram analisados sob o ponto de vista do conforto térmico e da salubridade das aves, e foram propostas alternativas para operação do aviário para reduzir a ocorrência de estresse térmico das aves.

Palavras-chave: Avicultura, Ambiência, Ventilação, Controle Térmico

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de corte brasileira é uma indústria que se encontra em crescimento tanto no mercado interno quanto no exterior, com participação da produção nacional em diferentes mercados de modo competitivo.

A produção nacional de carne de frango foi de 12,9 milhões de toneladas em 2016, sendo 4,38 milhões de toneladas destinadas à exportação, e a receita total obtida com esta exportação foi de US\$ 6,875 bilhões, segundo a ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal, citada pela EMBRAPA (2017), Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária.

O estado com maior participação nas exportações é o Paraná, concentrando 35% da receita obtida por exportações no Brasil. A região sul como um todo responde por 74% da receita total (SINDIAVIPAR, Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná, 2016). A projeção para o setor é de crescimento de 22% na produção, 17% no consumo doméstico e 31% nas exportações no período entre 2014-2024, conforme estudo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, OECD, reproduzido pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2016).

O crescimento apresentado pelo setor faz com que aumente a demanda por estudos científicos voltados aos fatores que afetam a eficiência da produção, para evolução do produto nacional e para aumento da eficiência operacional da indústria nacional, e portanto, foi motivação para realização deste estudo.

O modelo de negócios mais comum na indústria nacional consiste em uma empresa frigorífica fornecer a granjeiros independentes aves recém-nascidas e a ração para alimentação, e comprar o frango desenvolvido. Este processo de criação dura geralmente 42 dias, entre a chegada e saída das aves das granjas. O valor pago aos granjeiros depende do peso final médio das aves, a mortalidade durante o processo, da condição de saúde final das aves e a quantidade de ração consumida na criação. Do ponto de vista dos granjeiros, especialmente, é fundamental o estudo das variáveis da produção uma vez que pequenas variações nas características das aves no fim do seu desenvolvimento têm grande influência no faturamento obtido e conseqüentemente na viabilidade financeira de seus negócios.

Historicamente a maior preocupação por parte da indústria concentrou-se nas áreas de nutrição, manejo e saúde das aves, e o resultado das pesquisas efetuadas foi significativo na prevenção da proliferação de doenças causadas por deficiências higiênicas e alimentícias das aves, e conseqüentemente, na mortalidade durante a produção.

Uma vez controlada a questão de morte e doenças das aves, o maior ganho de competitividade disponível no processo de produção é o aumento da eficiência, medida através da razão entre o ganho de massa corporal das aves no fim do processo de crescimento e a quantidade total de alimento consumida pelas mesmas. Além disso, existe maior demanda por aves de maior peso, o que torna ainda mais importante o esforço para obtenção de ganhos de produtividade.

O ganho de massa das aves, especialmente no terço final do processo de produção, depende principalmente do conforto das mesmas no ambiente onde se encontram, destacando-se nesta questão o conforto térmico. As aves são animais homeotérmicos, ou seja, são capazes de regular a própria temperatura corporal, mas a manutenção de aves em

condições diferentes daquela que estabelece o conforto térmico prejudica o seu desenvolvimento, podendo levar a problemas de saúde.

Para a manutenção de ambiente favorável para o desenvolvimento das aves o clima brasileiro, em grande parte tropical, é um fator que aumenta o desafio para os granjeiros, devido à fragilidade dos animais e à necessidade de manutenção de condições térmicas e higrométricas limitadas. Outro fator a ser considerado é o fato de que o desenvolvimento genético de aves para corte foi feito para atender a produção em clima temperado, estando as aves melhor adaptadas para o crescimento em climas com temperaturas mais baixas que aquelas encontradas regiões tropicais e subtropicais.

As condições de conforto térmico para as aves variam com a sua idade, tornando imprescindível um sistema de controle térmico que seja capaz de se adaptar às condições ambientais e às necessidades das aves.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo central realizar o estudo das características de equilíbrio térmico e higrométrico de aviários para produção de frangos de corte em diferentes fases do ciclo de produção e em diferentes condições climáticas, visando o melhor entendimento das formas de controle ambiental utilizadas atualmente e a sua eficácia no estabelecimento de condições favoráveis para o crescimento das aves. O desenvolvimento foi feito a partir de dados da bibliografia e de estudo de caso de um aviário em operação.

Os objetivos específicos são: dadas as condições climáticas, as características das construções de aviários e as demandas para conforto térmico das aves, verificar por meio de simulações qual é a capacidade de sistemas de ventilação e ventilação evaporativa do aviário de manter as condições internas dentro de limites de conforto térmico e de saúde das aves, para diferentes idades e quantidade de aves. Além disso, propõe-se verificar em quais situações cada tipo de controle térmico tem maior resultado para manter o ambiente favorável às aves.

Como objetivos secundários, propõe-se estudar a viabilidade técnica e financeira de utilização de outras formas de controle térmico, e verificar a possibilidade de automação de sistemas de ventilação e controle térmico para um aviário. Esta automação pode reduzir operações manuais destinadas ao controle e diminuir a grande carga de trabalho dos trabalhadores que fazem o manejo das aves no dia a dia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Caracterização da produção de frangos para corte

Os locais para produção de aves de corte adotados neste estudo apresentam as seguintes características:

- Aviário com planta retangular, com comprimento de cerca de 100 metros e largura de cerca de 25 metros;
- Ventilação tipo túnel com pressão negativa, promovida por exaustores na saída de ar do aviário. O escoamento de ar se dá na direção longitudinal do aviário;
- Para aumentar a eficiência do sistema de ventilação, as paredes laterais do aviário são vedadas, utilizando-se de lonas plásticas. O uso destas lonas também visa servir de barreira à entrada de luz e colabora para reduzir a troca de calor com o meio externo. Em caso de emergência estas lonas podem ser rapidamente recolhidas, evitando possíveis riscos às aves e aos trabalhadores dos aviários;
- O aviário tem iluminação interna artificial, utilizando lâmpadas com baixa emissão de calor. Os períodos com e sem iluminação artificial são rigidamente controlados;
- Os aviários dispõem de aquecedor de ar para atender às demandas das aves, especialmente no início de suas vidas;
- As aves são colocadas no aviário com cerca de três dias de vida, e são retiradas para abate com cerca de 42 dias. Estas aves são fornecidas diretamente pela empresa frigorífica que irá fazer a compra dos frangos adultos.

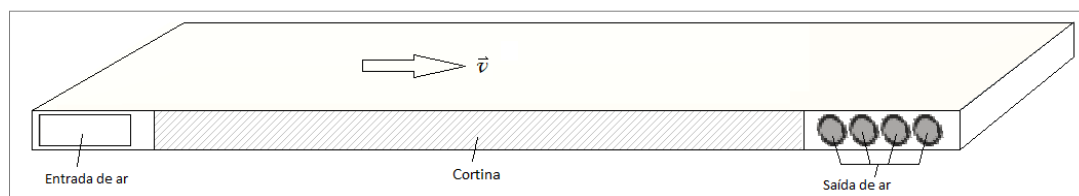


Figura 1. Arquitetura básica de um aviário

3.2 Definição das condições de conforto térmico das aves

As aves, como outros animais, dispõem de mecanismo termorregulador capaz de controlar a sua temperatura corporal para a manutenção de saúde. A sua produção de calor se deve principalmente devido ao metabolismo basal, que corresponde às funções vitais, tais como o sistema nervoso, circulatório, digestivo e respiratório, e à atividade muscular relacionada à movimentação e outras atividades.

No seu processo termorregulador as aves rejeitam calor sensível e latente, dependendo das condições ambientais e de sua saúde. A troca de calor sensível ocorre pelos processos de convecção e radiação. Em condições de temperatura ambiente elevada, as aves procuram aumentar a sua área em contato com o ar, e aumentar a circulação sanguínea nas

zonas periféricas do corpo para promover a troca de calor por convecção. Nas condições de temperatura baixa no ambiente o comportamento da ave é o oposto, com a diminuição da área exposta ao ar, e redução da circulação periférica. A plumagem auxilia no isolamento do corpo, sendo importante para as condições de frio.

A troca de calor na forma latente se dá pelo processo de evaporação e, uma vez que as aves não possuem glândulas sudoríparas, ocorre predominantemente nos pulmões: o ar expirado pela ave é praticamente saturado, contribuindo para a perda de calor. Em situações de temperatura elevada a ave pode sofrer um aumento da frequência respiratória no esforço de perda de calor, o que pode causar problemas de saúde, se ocorrer por períodos longos.

3.3 Métodos de controle térmico mais utilizados em aviários

No início da vida das aves (geralmente até os 7 a 10 dias de vida), pode ser necessário o aquecimento do ar no interior do aviário para a sua sobrevivência. Durante o restante da sua vida, o foco principal passa a ser o resfriamento do interior do aviário.

O aquecimento do interior de aviários, como aquele do presente estudo de caso, é feito através de equipamentos que insuflam ar aquecido a partir do uso de lenha como combustível. A temperatura do ambiente é controlada com a monitoração do ar quente insuflado. O ar insuflado não sofre contaminação dos produtos da combustão, não prejudicando assim a qualidade do ar no interior do aviário. Nas condições climáticas habitualmente encontradas no Brasil, só é necessário aquecimento do ar interior do aviário durante o início do crescimento das aves. Nestas condições as necessidades de ventilação são limitadas, sendo assim evitado grande desperdício do calor fornecido pelos aquecedores.

Para as necessidades de resfriamento dos aviários, são vastamente utilizadas duas formas de controle térmico. A primeira opção para resfriar os ambientes dos aviários é por meio do sistema de ventilação simples que realiza a troca de calor com o ar externo insuflado. A segunda forma trata da utilização de ventilação evaporativa, em que o ar insuflado no aviário tem a sua umidade aumentada através de acréscimo de vapor d'água realizado por placas de evaporação (localizadas na entrada de ar no aviário) ou por nebulizadores (no interior do aviário).

A ventilação de aviários é feita por meio de ventiladores axiais, e sua principal função é fazer a renovação do ar interno, reduzindo a concentração de poluentes resultantes dos processos fisiológicos das aves e excedente de dióxido de carbono. Os ventiladores são acionados constantemente e, em um aviário que opera com pressão negativa, são montados na saída de ar do aviário.

O sistema de ventilação simples, sem resfriamento evaporativo, em ambiente de criação de animais, para que possa manter o interior do ambiente nas condições de projeto, deve atender a algumas condições, relacionadas com as diferentes funções pelas quais é responsável. No Handbook ASHRAE 2007 – *Systems and Applications* são apresentadas estas condições, e na Fig. 2 pode-se ver de que forma a necessidade de vazão de ar de ventilação para atender a estas condições variam conforme a temperatura, pois este sistema depende da temperatura do ar exterior e de sua vazão. As condições que o sistema de ventilação deve atender são:

- O sistema de ventilação deve prover ar suficiente para a manutenção da qualidade de ar interna (ou seja, para manter a concentração de dióxido de carbono e outros produtos da respiração em níveis aceitáveis). A vazão mínima para esta manutenção é representada pela curva "A" na Fig. 2;
- O sistema de ventilação deve também ser capaz de remover a umidade decorrente da respiração. A vazão necessária para tanto é representada pela curva "B" na Fig. 2;
- O sistema de ventilação é também responsável pela manutenção da temperatura interna no nível desejado, e a vazão necessária para tanto é representada pela curva "C" na Fig. 2;
- O sistema de ventilação não pode introduzir desconforto nas aves devido ao ruído ou à velocidade do ar. A vazão máxima de ar possível que não implique em perda de conforto é representada pela curva "D" na Fig. 2;

Assim, a vazão de ar externo ideal é definida pelo mínimo valor que atenda às primeiras três condições, e não desrespeite a quarta. Esta curva, junção de trechos das linhas, está representada na cor vermelha na Fig. 2.

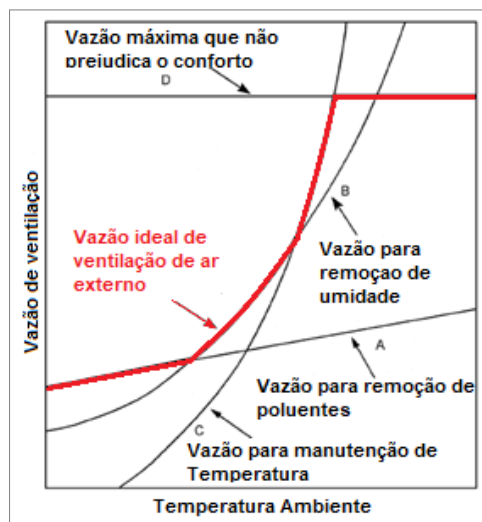


Figura 2. Fatores para seleção de vazão de ar para ventilação. ASHRAE (2007), adaptado de Christianson, Fehr, 1983

Em condições climáticas em que o sistema de ventilação simples sem tratamento é incapaz de manter o conforto térmico das aves no interior do aviário, a alternativa mais usual é o uso de resfriamento evaporativo. Este consiste em reduzir a temperatura do ar através da evaporação de água.

No caso dos aviários, são utilizados dois tipos de equipamentos para este fim: placas evaporativas, na entrada de ar do aviário, e nebulizadores distribuídos no interior do mesmo.

As placas evaporativas consistem em grandes placas de celulose, de formato sanfonado, recobertas por uma fina camada de água. Como estas placas são colocadas nas únicas entradas de ar do aviário, o fluxo de ar, ao passar pela placa e entrar em contato com a camada de água, aumenta a sua umidade relativa, aproximando-se de condição de saturação, e diminui a sua temperatura. Neste método a redução de temperatura depende do acréscimo da umidade do ar insuflado, e sua eficácia é reduzida quando a umidade relativa do ar ambiente é alta e próxima da condição de saturação.

4. METODOLOGIA

Para fazer simulações do comportamento térmico das aves em um ambiente de aviário é preciso considerar inicialmente os seguintes aspectos relacionados às condições e necessidades das aves:

- Características térmicas das aves, considerando modelo para determinação do calor rejeitado pelas aves;
- Condições de conforto térmico das aves, definidas por estudos e pesquisas realizadas que definem índice de conforto relacionado a parâmetros ambientais;
- Vazão de ar externo em um aviário para garantir a qualidade do ar interno.

Em seguida, analisando o aviário é preciso realizar o cálculo de carga térmica desse ambiente a cada hora.

E finalmente obter os resultados para os valores dos índices de conforto considerando tanto as características das aves, como os parâmetros do ambiente. Desta forma é avaliado o ambiente para determinada condição de clima e para aves de certa idade.

4.1 Características térmicas das aves

Uma característica importante a ser analisada, e que será utilizada nas simulações é a parcela de carga térmica associada ao calor que é produzido pelas aves, e como este valor varia com o seu desenvolvimento.

Os valores a serem utilizados são obtidos através das equações abaixo, resultado de pesquisa de Pedersen e Thomsen (2010). Nestas expressões, q_t é a quantidade de calor total gerada por cada ave, q_s é a quantidade de calor sensível gerada, m_a é a massa corporal média das aves, e TBS é a temperatura de bulbo seco do ambiente onde as aves se encontram.

$$q_t = 9,84 \cdot m_a^{0,75} (4 \cdot 10^{-5} (20 - TBS)^3 + 1) \quad (1)$$

$$q_s = 0,83 \cdot q_t (0,8 - 1,85 \cdot 10^{-7} (TBS + 10)^4) \quad (2)$$

A partir dos dados do Manual Cobb (COBB-VANTRESS, 2009), o ganho de peso das aves entre os dias 20 e 42 é aproximadamente linear. Utilizando dados do aviário em operação, são considerados os dados representados na Tab. 1:

Tabela 1. Variação da massa corporal de frangos de corte em função da idade

Idade (dias)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Massa (kg)	1,9	1,95	2,0	2,05	2,1	2,15	2,2	2,25	2,3	2,35	2,4	2,45
Idade (dias)	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
Massa (kg)	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85	2,9	2,95	3,0	

4.1 Condições de conforto térmico das aves

A partir de pesquisa por parte do Núcleo de Pesquisa em Ambiência –NUPEA - ESALQ / USP, foi criado um índice de conforto térmico voltado especificamente para frangos de corte, IEC (Índice de Entalpia de Conforto), com o objetivo de tornar possível uma avaliação rápida da condição térmica de um ambiente de produção destas aves. O índice é definido a partir da Eq. 3, onde TBS é a temperatura de bulbo seco do ar e UR é a umidade relativa.

$$IEC = 6,7 + 0,243 \cdot TBS + \left(\frac{UR}{100} \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot TBS}{237,5 + TBS}} \right) \quad (3)$$

Para que os próprios produtores possam avaliar rapidamente a condição de seus aviários, o NUPEA gerou seis tabelas com gradação de cores para cada fase do desenvolvimento das aves para facilitar a rápida avaliação do ambiente, em diferentes fases do desenvolvimento das aves. As seis tabelas, uma para cada período da vida das aves, estão apresentadas por Barbosa Filho, 2007. Nestas tabelas, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior do aviário, obtém-se o valor do IEC e as cores auxiliam na interpretação da condição térmica. Nestas tabelas a condição térmica está associada a regiões de mesma cor:

- Cor verde: condição em que há conforto térmico;
 - Cor amarela: leve desconforto;
 - Cor laranja: condição de alerta;
 - Cor vermelha: condição de risco à vida das aves.
- Um trecho de uma destas tabelas é apresentado na Tab. 2, a seguir.

Tabela 2. Índice de Entalpia de Conforto para frangos de corte de até uma semana de vida, Barbosa Filho, 2007

NUPEA - ESALQ - USP														
TABELA PRÁTICA PARA AVALIAÇÃO DO AMBIENTE DE GALPÕES DE FRANGOS DE CORTE														
Faixa de Conforto para Frangos de corte (1ª semana) - H variando de 80 a 86,6 KJ/Kg ar seco														
Temperatura (°C)														
UR (%)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
57	71,2	73,1	75,0	77,0	79,1	81,1	83,3	85,5	87,7	90,1	92,4	94,9	97,4	100,0
58	71,4	73,4	75,3	77,3	79,4	81,5	83,7	85,9	88,2	90,5	92,9	95,4	97,9	100,5
59	71,7	73,6	75,6	77,6	79,7	81,8	84,0	86,3	88,6	90,9	93,4	95,8	98,4	101,1
60	72,0	73,9	75,9	77,9	80,0	82,2	84,4	86,6	89,0	91,4	93,8	96,3	98,9	101,6
61	72,2	74,2	76,2	78,2	80,4	82,5	84,7	87,0	89,4	91,8	94,3	96,8	99,4	102,1
62	72,5	74,5	76,5	78,6	80,7	82,9	85,1	87,4	89,8	92,2	94,7	97,3	99,9	102,6
63	72,7	74,7	76,8	78,9	81,0	83,2	85,5	87,8	90,2	92,6	95,2	97,8	100,4	103,2
64	73,0	75,0	77,1	79,2	81,3	83,6	85,8	88,2	90,6	93,1	95,6	98,2	100,9	103,7
65	73,3	75,3	77,4	79,5	81,7	83,9	86,2	88,6	91,0	93,5	96,1	98,7	101,4	104,2
66	73,5	75,6	77,6	79,8	82,0	84,2	86,6	89,0	91,4	93,9	96,5	99,2	101,9	104,8
67	73,8	75,8	77,9	80,1	82,3	84,6	86,9	89,3	91,8	94,4	97,0	99,7	102,5	105,3
68	74,0	76,1	78,2	80,4	82,6	84,9	87,3	89,7	92,2	94,8	97,4	100,2	103,0	105,8
69	74,3	76,4	78,5	80,7	83,0	85,3	87,7	90,1	92,6	95,2	97,9	100,6	103,5	106,4
70	74,6	76,7	78,8	81,0	83,3	85,6	88,0	90,5	93,0	95,6	98,3	101,1	104,0	106,9

Os valores limites de cada faixa, retirados das seis tabelas, que representam correlações para diferentes idades das aves estão apresentados na Tab. 3, conforme apresentado em Ambrosio (2018).

Tabela 3. Valores indicados para o Índice Entalpia de Conforto

Dia	Conforto Térmico		Leve Desconforto		Alerta
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
7	73,0	79,9	65,0	87,8	95,2
14	66,8	73,9	59,1	81,0	87,4
21	63,0	68,2	57,6	74,6	80,4
28	56,3	64,6	-	70,7	77,6
35	54,7	62,9	-	68,6	75,9
42	-	61,4	-	67,1	74,6

4.3 Vazão de ar externo para manutenção da qualidade do ar interno do aviário

A partir de diretrizes da qualidade de ar no interior do aviário divulgadas pela fornecedora dos animais (COBB-VANTRESS, 2009), são definidas as necessidades mínimas de troca de ar, ou seja, de valores de vazão de ar externo admissíveis em um aviário. No manual sobre ventilação em aviários, a Embrapa (apud ABREU E ABREU, 2000) descreve diferentes maneiras de definir a necessidade de ar das aves, uma das quais está reproduzida na Tab. 4:

Tabela 4. Vazão de ar em litros por minuto (L/min) em função da temperatura do ar e da idade das aves – Abreu e Abreu (2000)

Temperatura ambiente (°C)	Idade (semanas)			
	1	3	5	7
4,4	6,8	19,8	34,0	53,8
10,0	8,5	22,7	45,3	65,1
15,6	10,2	28,3	53,8	79,3
21,1	11,9	34,0	62,3	93,4
26,7	13,6	36,8	70,8	104,8
32,2	15,3	42,5	79,3	118,9
37,8	17,0	48,1	87,8	133,1

5. ESTUDO DE CASO

As simulações foram baseadas em um aviário específico localizado nos arredores de Londrina, no norte do Paraná, escolhido como objeto do presente estudo de caso pela facilidade de obtenção de dados e realização de medições. As dimensões do aviário são de 125 m de comprimento e 20 de largura, com capacidade para 30.000 aves. O sistema de ventilação opera com pressão negativa, ou seja, os ventiladores operam na exaustão do ar interno, e as laterais do aviário são vedadas, permitindo a entrada de ar somente na extremidade oposta aos ventiladores, onde existem placas evaporativas de celulose. Além disso, há nebulizadores distribuídos na parte interna do aviário, para operação quando for julgado necessário. As aves, a partir da terceira semana no aviário, ficam separadas em quatro subdivisões do aviário, para limitar a sua movimentação e facilitar o monitoramento sobre suas condições.

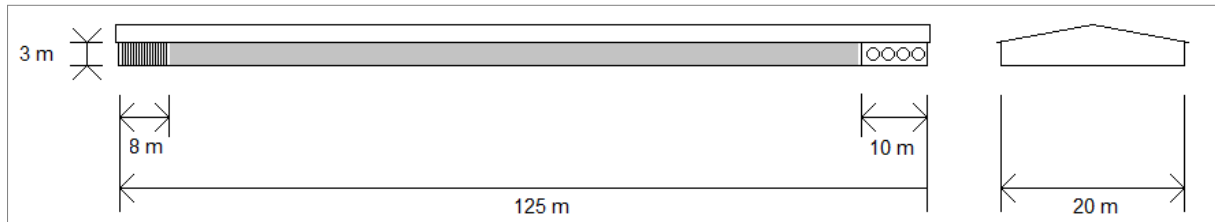


Figura 3. Dimensões do aviário estudado

Foram medidas temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) do ar no aviário para analisar comportamento dinâmico destes parâmetros em dias com climas diferentes. Na Fig. 4 são apresentadas as posições de medição. As posições 1 e 2 estão próximas à entrada de ar, e as posições 10 e 11 estão localizados próximo aos ventiladores.

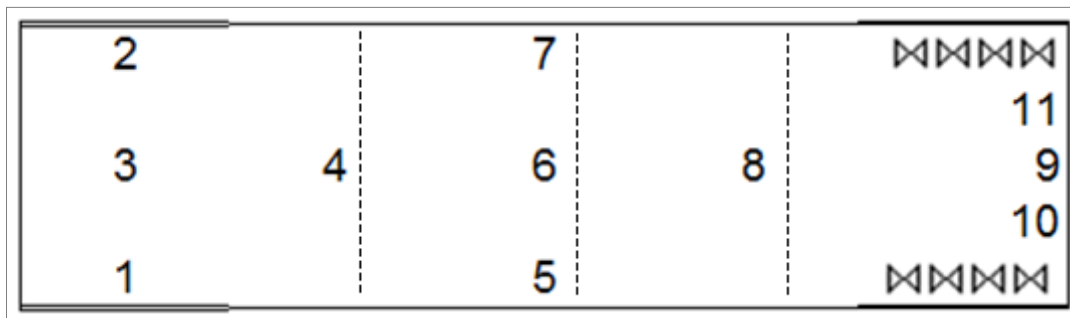


Figura 4. Posições internas ao aviário para medição de TBS e UR.

Na Fig. 5 são apresentados os valores de entalpia calculados a partir dos dados medidos em dois dias distintos, para o ar externo, para as 11 posições internas. Os pontos da curva azul são valores de entalpia do ar interno no dia em que as condições do ar externo eram, TBS = 29,7° e UR 83%, e na curva amarela resultados para o dia em que TBS = 25°C e UR = 94%. Nota-se o aumento da entalpia à medida que o ar percorre o aviário.

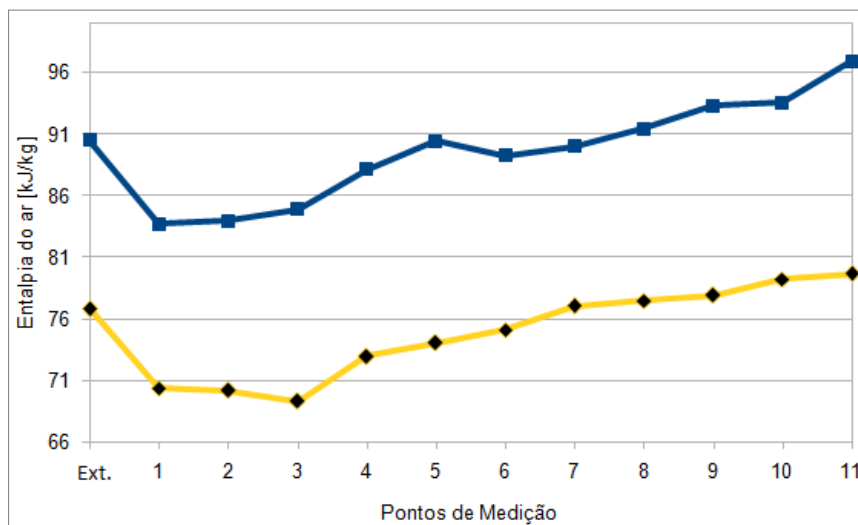


Figura 5. Entalpia do ar calculada a partir de TBS e UR medidas.

5.1 Cálculo de Carga térmica

Para que seja feita a modelagem do equilíbrio térmico do aviário e das necessidades de tratamento de ar, deve-se primeiramente calcular o perfil de carga térmica do aviário, que é resultante principalmente da influência do ambiente externo e da presença das aves no interior do aviário. Foi utilizado o método proposto pela ASHRAE, que utiliza os coeficientes CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) e CLF (*Cooling Load Factor*) para efetuar os cálculos.

São adotadas as seguintes hipóteses:

- Considera-se que o solo se mantém aproximadamente na mesma temperatura que o ar, de modo que não é necessário o cálculo da transferência de calor entre o solo e o ar;
- Os ventiladores de exaustão estão posicionados na saída de ar do aviário sendo considerada apenas a carga térmica associada à movimentação do ar: carga térmica de ventilação;
- Considerou-se que não há infiltração de ar pelas laterais do aviário ou pelo teto, não sendo necessário o cálculo das cargas térmicas decorrentes deste fator;
- A carga térmica latente prevalente no interior do aviário decorre da presença das aves, e são desconsideradas possíveis fontes de relacionadas à evaporação decorrente da presença de bebedouros e outros equipamentos. A carga latente é calculada na simulação;
- O calor gerado pela presença de aves é calculado à parte;
- É considerada que a geração de calor das aves é constante durante todo o dia, ignorando as mudanças quando estão dormindo.
- Equipamentos considerados no cálculo de carga térmica são as lâmpadas. Há lâmpadas com potência de 60W cada, posicionadas em 40 fileiras de 8 unidades.

Na Fig. 6 são apresentados os resultados calculados para a Carga Térmica:

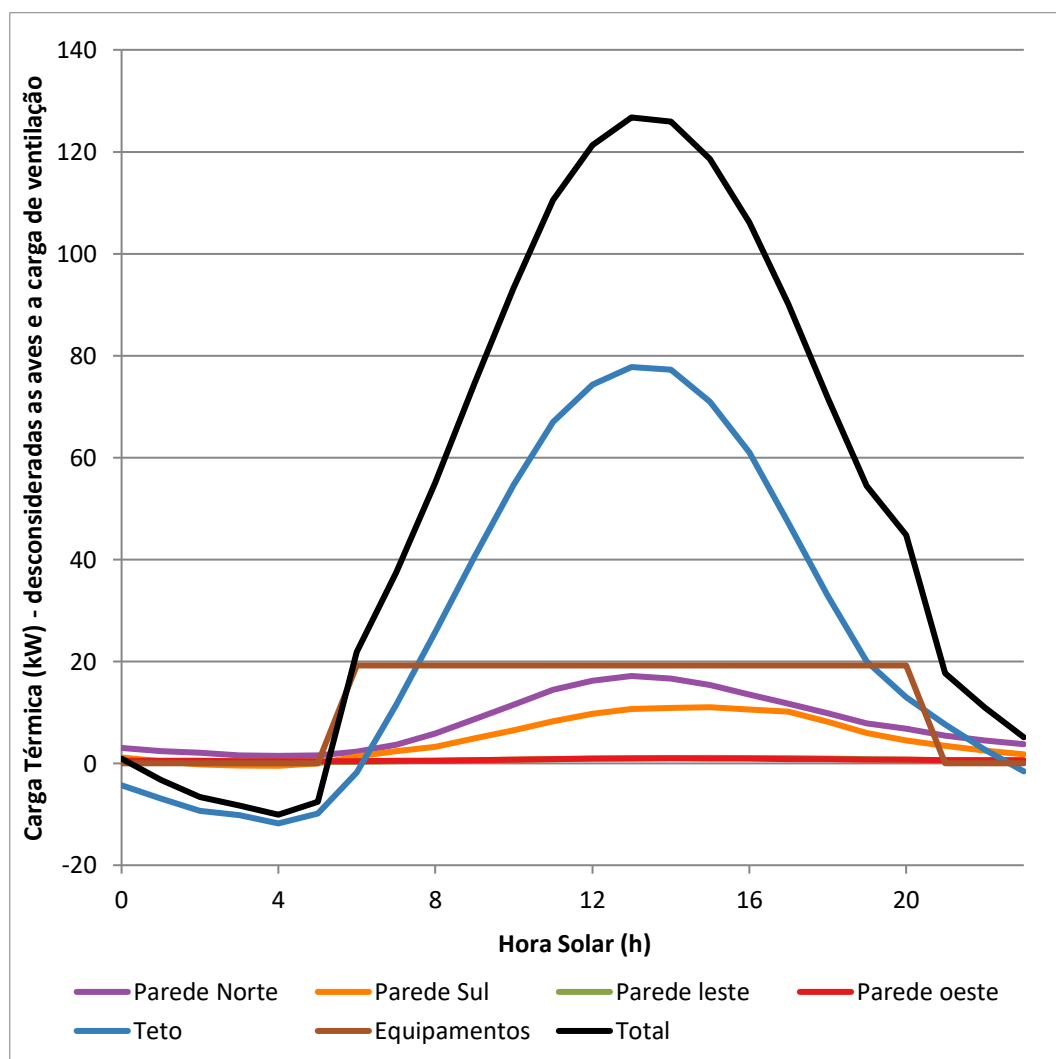


Figura 6. Resultado do Cálculo da Carga Térmica Máxima de Resfriamento - parcela sensível

5.3 Simulação do comportamento térmico de um aviário para determinadas condições de clima e controle

Para a avaliação da capacidade dos diferentes métodos de controle térmico, optou-se por fazer as simulações em três condições climáticas, uma com frequência de 1%, uma com frequência de 5% e uma com frequência de 10%. O valor de frequência refere-se à porcentagem dos dias em que a condição climática excede o valor dado no período estudado. A condição com frequência de 1% foi retirada da norma técnica NBR 16401-1:2008, Anexo A (ABNT, 2008). Já as outras foram calculadas a partir de dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, referentes aos anos de 2013 a 2016, e excluídos os dias chuvosos (AMBROSIO, 2018). Foram determinados, desta forma, os seguintes valores de temperatura de bulbo seco máxima, amplitude térmica e temperatura de bulbo úmido da Tab. 5.

Tabela 5. Dados climáticos selecionados para estudo

Condição	TBS máxima	Amplitude de TBS	Ponto de orvalho
1%	32,8°C	13°C	19°C
5%	30°C	12°C	17°C
10%	28°C	11°C	16°C

Foi estimada variação durante o dia da temperatura de bulbo seco utilizando o perfil teórico das temperaturas de bulbo seco, constantes no *Fundamentals Handbook* (2005) da ASHRAE. Para que seja possível analisar as condições do ambiente onde se encontram todas as aves, optou-se por considerar o aviário dividido em quatro partes, cada uma com a quarta parte das aves. Fazendo assim, pode-se também verificar o impacto causado pela presença de nebulizadores no interior do aviário. Esta divisão é apresentada na Fig. 7.

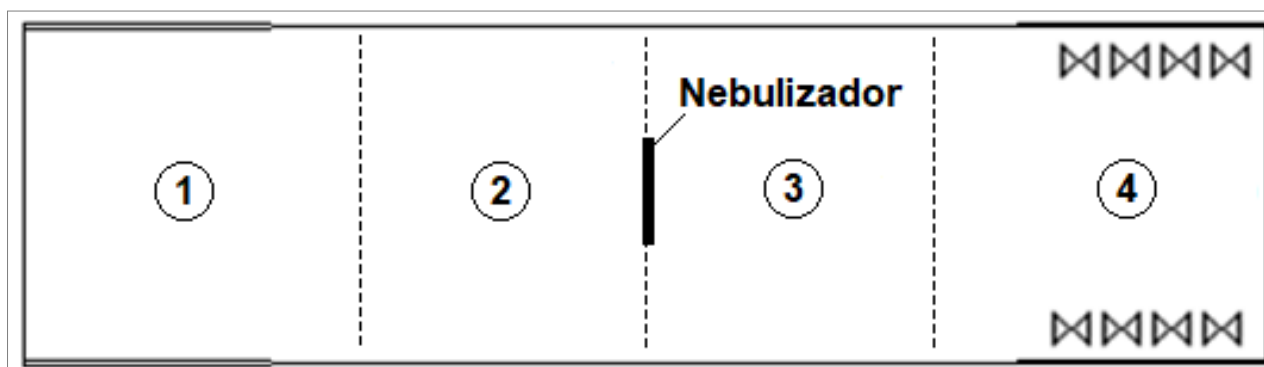


Figura 7. Divisão do aviário e localização do nebulizador

Considera-se que as cargas térmicas das paredes norte e sul (as paredes de cortinas) e do teto são igualmente distribuídas. As cargas térmicas das outras paredes são inteiramente aplicadas no segmento adjacente a elas.

A forma escolhida para avaliar a capacidade do sistema de fazer o controle de temperatura foi realizar um balanço térmico em cada segmento do aviário, em cada hora, em cada condição de clima e para cada alternativa de operação dos equipamentos utilizados, considerando regime permanente para a hora analisada.

Foram calculadas a temperatura e a umidade do ar na saída de cada segmento do ambiente e determinando qual era o IEC local.

As alternativas de controle escolhidas para as simulações foram:

- Ventilação sem tratamento
- Ventilação com evaporação no meio do aviário, eficiência de 70%
- Ventilação com evaporação na entrada de ar, eficiência de 70%
- Ventilação com evaporação na entrada de ar, eficiência de 70% e no meio do aviário, eficiência de 70%

A eficiência do resfriamento evaporativo é definida relacionando o ganho de umidade específica do ar obtido com a operação do equipamento e a diferença entre a condição de entrada e a de saturação, e é calculada conforme a equação 4, onde $\omega(ins)$ é a umidade específica do ar tratado, e $\omega(TBU)$ e $\omega(TBS)$ são os valores de umidade específica referentes à temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido do ar externo, respectivamente.

$$E = \frac{\omega(ins) - \omega(TBS)}{\omega(TBU) - \omega(TBS)} \quad (4)$$

A partir das simulações realizadas, pode-se calcular a vazão necessária para manter o sistema na condição em que há conforto térmico ou para manter a salubridade do ambiente.

Na Fig. 8 e na Fig. 9 estão apresentados exemplos dos resultados obtidos, que estão de forma completa no trabalho de Ambrosio (2018).

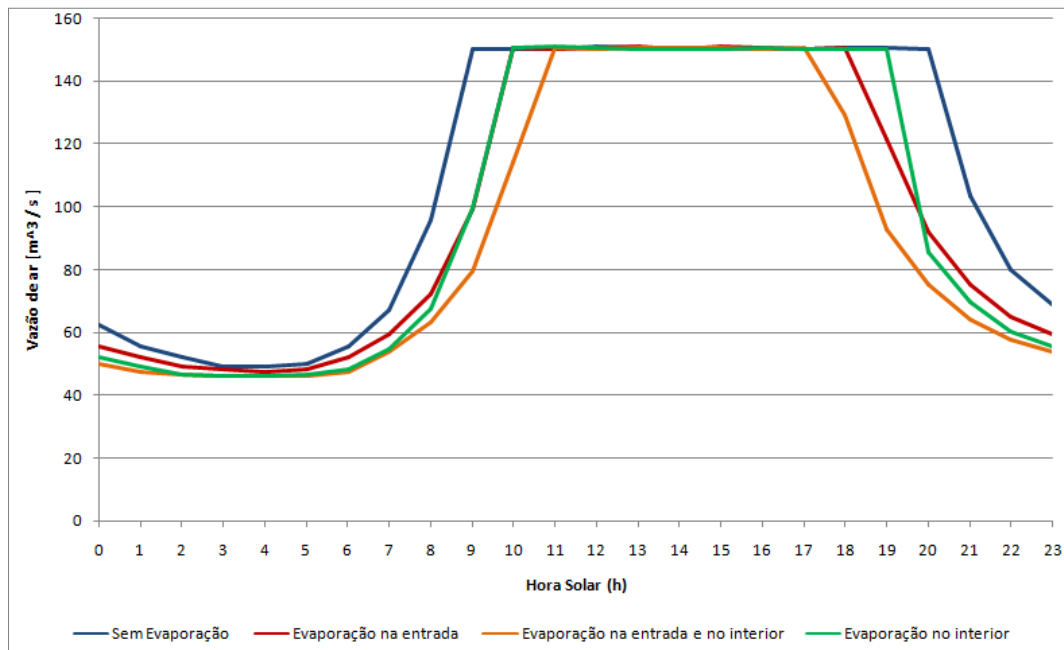


Figura 8. Vazão de ar [m³/s] do sistema ajustado para IEC na região de salubridade – Clima 1%, aves de 28 dias

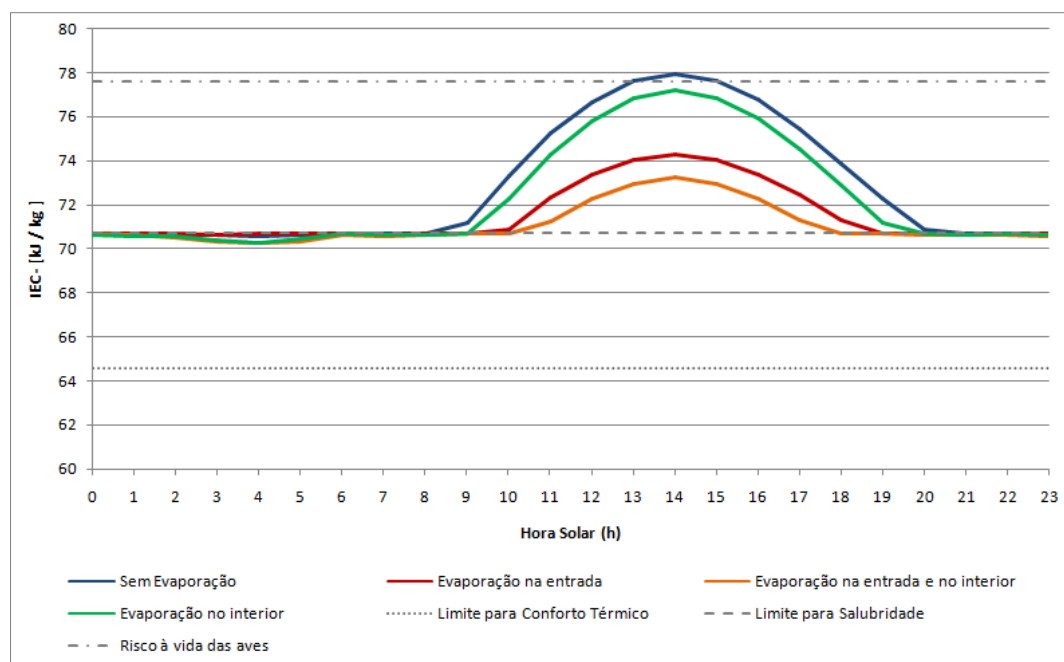


Figura 9. IEC máximo com sistema ajustado para IEC na condição de salubridade - Clima 1%, aves de 28 dias

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO

A partir de análise dos resultados das simulações, gráficos, pode-se verificar que nos casos estudados a utilização somente da ventilação simples não é suficiente para a manutenção de ambiente interno suportável para as aves.

A utilização dos processos evaporativos é fundamental para a manutenção de ambiente suportável, mas mostrou-se insuficiente para que o ambiente interno seja de conforto térmico, especialmente a partir da 4ª semana de vida das aves.

Foram analisadas duas formas possíveis de tentar tornar o ambiente mais favorável são a diminuição da quantidade de aves dentro do aviário (caso seja possível prever a ocorrência de clima desfavorável durante a produção), e o aumento da vazão de ar acima da situação de conforto, em caso de emergência.

Estas alternativas foram comparadas utilizando a situação mais crítica simulada, a de clima com frequência 1% (TBS máximo 32,8°C, amplitude térmica de 13°C e TBU de 19°C), para aves com 42 dias. Foi considerada a utilização de resfriamento evaporativo tanto na entrada quanto no interior do aviário.

Foi realizada, também a análise da redução da quantidade de aves de 30.000 para 25.000 e para 20.000. O resultado demonstrou que há uma diminuição do tempo em que as aves ficam em ambiente insalubre, sendo que com 30.000 aves

ocorrem aproximadamente 15,5 horas, para 25.000 aves passa para 14,5 horas, e para 20.000 aves, este número passa a ser de 13,5 horas, um decréscimo de 13%.

O aumento da velocidade máxima no aviário de 2,5 m/s para 3,0 m/s e 3,5 m/s acarretou na redução do período em que as aves ficam em ambiente insalubre de 15,5 horas na situação original para 14,3 horas se a velocidade aumenta para 3,0 m/s e para 13,2 horas com velocidade de 3,5 m/s, uma diminuição de cerca de 15%.

7. CONCLUSÕES

A partir dos estudos realizados, foi possível verificar qual é a efetividade de diferentes formas de controle térmico em aviários de produção de frangos para corte. Em particular, pôde-se ver que o sistema é muito dependente da idade das aves e do ambiente externo. Poderiam ser utilizados diferentes métodos de controle para aumentar a eficácia do sistema, como o uso de trocadores de calor para resfriar o ar insuflado ou o chão do aviário, mas devido à grande vazão de operação do sistema, a sua implantação tem viabilidade econômica comprometida.

Desta forma, se o objetivo do produtor é melhorar o desempenho de cada ave, a principal providência a ser tomada é fazer um estudo antes do recebimento das aves a fim de verificar quais serão as condições climáticas nos momentos de maior necessidade de rejeição de calor por parte do aviário. Dada a disponibilidade pelo governo de previsões meteorológicas para a maioria dos municípios do Brasil, em particular na Região Sul, onde é mais forte a indústria, pode-se também avaliar a possibilidade de antecipar ou postergar o início de produção para melhor aproveitar as condições climáticas presentes.

Como prosseguimento do estudo do tema, propõe-se um estudo de qual é a influência econômica do conforto térmico na produção de aves. Para tanto, é necessário definir qual exatamente é a relação entre o conforto térmico e o desempenho da ave, e a relação entre desempenho da ave (peso e ração consumida) e o resultado obtido pelo produtor.

Agradecimentos

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ao Departamento de Engenharia Mecânica da EPUSP, todos os seus professores e funcionários.

8. REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G., ABREU, V.M.N., 2000, "Ventilação na avicultura de corte." Embrapa Suínos e Aves.
- AMBROSIO, V. H. T., Estudo do controle térmico em aviários de produção de frangos de corte, Trabalho de conclusão de curso. Escola Politécnica da USP. São Paulo. 2018.
- ASHRAE, 2007, "2007 HVAC Applications – SI Edition", New York.
- ASHRAE, 2009, "2009 HVAC Fundamentals – SI Edition", New York.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. ABNT, 2008.
- BARBOSA FILHO, J.A.D., Vasconcelos Queiroz, M.L., Corrêa Viera, F.M., 2007, "Guia Prático para a Utilização de tabelas de Entalpia", Núcleo de Pesquisa em Ambiente – NUPEA - ESALQ / USP.
- CNA, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2016, "Balanço 2016 e Perspectivas 2017", São Paulo.
- COBB-VANTRESS do Brasil, LTDA., 2009, "Manual de Manejo de Frangos de Corte", Guapiaçu, Brasil.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, "Estatísticas | Desempenho da produção", atualizado em 28/03/2017. Disponível em <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>, acessado em 08/02/2018.
- INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., Transferência de Calor e de Massa, LTC Editora, 2003.
- MARIANI, A. L., BOLLIGER JR., R., "Notas de aula PME 2515 – Ar condicionado e ventilação", Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.
- SINDIAVIPAR, Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná, "PR: Estado líder em produção e exportação avícola reúne especialistas do setor em Workshop", 26/10/2016, disponível em <<http://sindiavipar.com.br/index.php?modulo=5&acao=detalhe&cod=175775>>, acessado em 08/02/2018.

A STUDY ON THERMAL CONTROL IN POULTRY HOUSES

Abstract. *The production of poultry in Brazil is one of the most important national industries. The evaluation and control of the ambient conditions inside the poultry houses has not been studied with the same emphasis as factors such as hygiene and food quality.*

A more detailed study is proposed on the thermal comfort conditions for the birds. Through data obtained in the literature, the thermal characteristics of the birds, as well as the ambient conditions in which they achieve thermal comfort, discomfort and are in danger. A poultry house in operation was analyzed to determine the cooling load and the capability of ambient control of a standard poultry house.

Using the collected data, the thermal and hygrometric behavior of the poultry house was simulated in typical climatic conditions. The results obtained were analyzed to determine the thermal comfort and health conditions of the birds, and alternatives were proposed to reduce thermal stress.

Keywords: Poultry Farming, Thermal Comfort, Ventilation, Thermal Control