



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



GABRIEL DE CASTRO MACHADO

**Climatização por placas evaporativas de um aviário localizado na cidade de
Luz – Minas Gerais**

**OURO PRETO - MG
2022**

GABRIEL DE CASTRO MACHADO
gabriel.castro@aluno.ufop.edu.br

**Climatização por placas evaporativas de um aviário localizado na cidade de
Luz – Minas Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Luís Antônio Bortolaia

OURO PRETO – MG
2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M149c Machado, Gabriel De Castro.

Climatização por placas evaporativas de um aviário localizado na cidade de Luz - Minas Gerais. [manuscrito] / Gabriel De Castro Machado. - 2022.

60 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Luis Antonio Bortolaia.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Aviário. 2. Conforto térmico. 3. Carga térmica. 4. Placas evaporativas. I. Bortolaia, Luis Antonio. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624.014

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabriel de Castro Machado

Climatização por placas evaporativas de um aviário localizado na cidade de Luz - Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 02 de Junho de 2022

Membros da banca

DSc. Luís Antônio Bortolaia - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. José Francisco Vilela Rosa (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Claudio Marcio Santana (Universidade Federal de Ouro Preto)

Luís Antônio Bortolaia, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 19/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Bortolaia, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/06/2022, às 08:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Francisco Vilela Rosa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/06/2022, às 22:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0346513** e o código CRC **77AEC472**.

A Deus dedico mais esta etapa vencida,
meus pais, pelo apoio incondicional.

A minha namorada, irmão e amigos pelo
carinho e apoio durante toda a jornada
acadêmica.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Luís Antônio Bortolaia, pelo grande incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

Aos meus pais, por todo apoio e suporte para realizar uma graduação de ensino superior.

A minha namorada, por toda parceria durante todos os anos de universidade.

Ao meu irmão e amigos, por todo incentivo.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”

Walter S. Landor

RESUMO

Machado, Gabriel de Castro: **Climatização por placas evaporativas de um aviário localizado na cidade de Luz – Minas Gerais**, 2022 (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

O presente trabalho tem o objetivo de dimensionar e selecionar um sistema de climatização por placas evaporativas que garanta uma redução da temperatura de um aviário localizado na cidade de Luz, Minas Gerais, afim de manter o ambiente com uma temperatura de conforto térmico para aves adultas. As cargas térmicas geradas no ambiente fazem com que a temperatura interna do aviário fique fora da zona térmica de conforto para as aves adultas, ocasionando uma perda produtiva. Com isso, nesse estudo, são abordados os tipos de climatização de aviários; a temperatura de maior produtividade em um criatório de aves de corte; e a consequente carga térmica envolvida em todo sistema de criação de aves. Sendo assim, o estudo engloba: (i) a apresentação do problema, determinação dos objetivos, revisão bibliográfica, para ajudar na solução do problema estudado, metodologia adotada na captação de dados e apresentação dos resultados, (ii) apresentação dos dados relativos ao aviário e a cidade em que ele é instalado, como características térmicas das superfícies e temperaturas do local, (iii) cálculo das cargas térmicas envolvidas e da vazão do ar necessária para ter uma temperatura adequada, (iv) determinação do sistema a ser usado e a quantidade de placas evaporativas necessárias para garantir a efetividade do sistema. Com a metodologia, obtém-se um sistema adequado para garantir uma temperatura ambiente visando uma maior produtividade. Para o estudo de caso, presente no trabalho, um sistema de Painéis de Resfriamento Evaporativo CELDEK foi selecionado com medidas de altura 72”, largura 24” e espessura 18”. Ao todo, 66 painéis de resfriamento evaporativo são necessários em uma velocidade de 200Pés/min e 44 painéis para uma velocidade de 400Pes/min para conseguir atingir a temperatura interna desejada de 24°C.

Palavras-chave: Aviário, conforto térmico, carga térmica, ventilação, climatização, placas evaporativas.

ABSTRACT

The present work has the purpose of scaling and selecting a climatization system by evaporative plates that guarantees a temperature reduction of an aviary located in the city of Luz, Minas Gerais, in order to keep the environment with a thermal comfort temperature for adult birds. The thermal loads generated at the environment causes the aviary's internal temperature to stay out of the thermal comfort zone for adult birds, which brings a productivity loss. With this, in this study, the aviary's types of air conditioning are addressed; the most productive temperature in a broiler poultry farm; and the consequent thermal loads involved in every poultry breeding system. Therefore, this study encompasses: (i) presentation of the problem, determination of the objectives, literature review in order to help in the solution of the problem here studied, methodology adopted in data capture and presentation of results; (ii) presentation of data relating to the aviary and the city where it is installed, like thermal characteristics of surfaces and site temperatures; (iii) calculation of the thermal loads involved and of the required air flow to have a suitable temperature; (iv) determination of the system to be used and of the required quantity of evaporative plates to guarantee the system's effectiveness. With the methodology, an adequate system to guarantee an ambient temperature aiming at greater productivity is obtained. For the case study, present in this work, was selected a system of CELDEK Evaporative Cooling Panels with 72' of height, 24' of width and 18' of thickness measures. Altogether, 66 cooling evaporative panels in a speed of 200 feet/min and 44 panels in a speed of 400 feet/min are necessary to achieve the desired internal temperature of 24°C.

Key words: *Aviary, thermal comfort, thermal load, ventilation, air conditioning, evaporative plates.*

LISTA DE SIMBOLOS

Q_{cond}	Taxa de condução de calor	W
k	Condutividade térmica do Material	W/(m*K)
T1 e T2	Temperaturas superficiais do corpo	K
Δx	Espessura da camada	m
A	Área de superfície de troca térmica	m ²
Q_{conv}	Taxa de convecção de calor	W
H	Coefficiente convectivo	W/(m*K)
T_s	Temperatura da superfície	K
T_{∞}	Temperatura longe da superfície	K
Q_{max}	Taxa máxima de radiação	W
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	W
ϵ	Emissividade da superfície	
ϕ	Ganho de calor pela radiação	W
U	Transmitância térmica	W/(m ² *K)
θ_i	Temperatura interna	K
R_{se}	Resistência superficial externa	(m ² *K)/W
RS	Radiação Solar	W/m ²
α	Absortividade	
R	Resistência térmica	m ² *°C/W
e	Espessura	m
λ	Condutividade térmica	W/(m°C)
U	Transmitância térmica	W/(m ² *°C)
ρ	Densidade	Kg/m ³
c	Calor Específico	Kj/(Kg.K)

Ma	Massa média da ave	Kg
Qaves	Carga térmica gerada por uma ave	W
Tbs	Temperatura de Bulbo Seco	°C
Qe	Vazão de ar necessária	m ³ /s
Qt	Carga térmica total	W
ΔT	Diferença de temperatura externa e interna	°C
MG	Minas Gerais	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VARIAÇÕES DE TEMPERATURA CORPORAL EM ANIMAIS HOMEOTÉRMICOS.....	5
FIGURA 2: - RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DAS AVES AO ESTRESSE CALÓRICO.	7
FIGURA 3: CONDUÇÃO ATRAVÉS DE UM SÓLIDO OU FLUIDO ESTACIONÁRIO.	9
FIGURA 4: CONVECÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE PARA UM FLUIDO EM MOVIMENTO.	11
FIGURA 5: TROCA LÍQUIDA DE CALOR POR RADIAÇÃO ENTRE DUAS SUPERFÍCIES.....	12
FIGURA 6: AVIÁRIO DE VENTILAÇÃO NATURAL.....	14
FIGURA 7: AVIÁRIO POR VENTILAÇÃO MECÂNICA.....	15
FIGURA 8: SISTEMA DE PLACAS EVAPORATIVAS.	16
FIGURA 9: REPRESENTAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM AVIÁRIO POR PLACAS EVAPORATIVAS.....	17
FIGURA 10: AVIÁRIO UTILIZANDO O SISTEMA DE PLACAS EVAPORATIVAS.....	17
FIGURA 11: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS REALIZADAS NA PESQUISA.	25
FIGURA 12: DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM AVIÁRIO.....	28
FIGURA 13: AVIÁRIO EM ANÁLISE LOCALIZADO EM LUZ - MINAS GERAIS.....	28
FIGURA 14: MÉDIA DA RADIAÇÃO SOLAR NA CIDADE DE LUZ - MINAS GERAIS.....	29
FIGURA 15: GRÁFICO DA MÉDIA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NA CIDADE DE LUZ - MG.....	29
FIGURA 16: TABELA DE MÉDIAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NA CIDADE DE LUZ - MG.....	30
FIGURA 17: INTERFACE DO SOFTWARE RADIASOL.....	30
FIGURA 18: INTERFACE DO RADIASOL PARA A LOCALIDADE E ORIENTAÇÃO ESCOLHIDA.....	31
FIGURA 19: GRÁFICO DA VARIAÇÃO DA CARGA TÉRMICA DO AVIÁRIO AO LONGO DO DIA.....	35
FIGURA 20: PAINÉIS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO CELDEK.....	37
FIGURA 21: PERDA DE CARGA DO SISTEMA DE PLACAS EVAPORATIVAS.....	37
FIGURA 22: GRÁFICO DE EFICIÊNCIA DO PAINEL DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO CELDEK.....	38

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: RESISTÊNCIA TÉRMICA SUPERFICIAL INTERNA E EXTERNA.....	19
TABELA 2: ABSORTIVIDADE (A) (ONDAS CURTAS) E EMISSIVIDADE (E) PARA ALGUNS TIPOS DE SUPERFÍCIE.....	20
TABELA 3: MATERIAIS E SUA CONDUTIVIDADE TÉRMICA (λ), DENSIDADE ESPECÍFICA (P) E CALOR.....	21
TABELA 4: TABELA DE VARIÁVEIS E INDICADORES.....	26
TABELA 5: RADIAÇÕES DE CADA PLANO POR HORA DO DIA 16 DE FEVEREIRO	31
TABELA 6: CONDUTIVIDADE DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	32
TABELA 7: DADOS DE ORIENTAÇÃO, ÁREA, TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E ABSORTIVIDADE DE CADA SUPERFÍCIE ...	32
TABELA 8: EQUAÇÕES DO FLUXO NA SUPERFÍCIE VINDO DA IRRADIAÇÃO SOLAR	33
TABELA 9: FLUXO DE CALOR NAS PAREDES DEVIDO A IRRADIAÇÃO SOLAR EM W	33
TABELA 10: ESPESSURA, CONDUTIVIDADE E RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS DO AVIÁRIO.	34
TABELA 11: CÁLCULO DAS CARGAS TÉRMICAS POR ORIENTAÇÃO E SOMATÓRIO	34
TABELA 12: CARGA TÉRMICA TOTAL DO AVIÁRIO	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema	1
1.2	Justificativa	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Geral	2
1.3.2	Específicos.....	2
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Evolução da avicultura.....	4
2.2	Homeotermia e conforto térmico das aves.....	4
2.3	Fisiologia e controle térmicos das aves	5
2.4	Influências ambientais no controle térmico das aves.....	7
2.5	Transferência de Calor.....	8
2.5.1	Condução	8
2.5.2	Convecção	10
2.5.3	Radiação	11
2.6	Instalações aviárias	12
2.7	Climatização de galpões avícolas	13
2.7.1	Ventilação Natural.....	13
2.7.2	Ventilação mecânica.....	14
2.7.3	Sistemas de resfriamento por placas evaporativas para granjas de corte	15
2.8	Carga térmica.....	17
2.8.1	Carga térmica devido a insolação:.....	18
2.8.2	Carga térmica devido as aves no ambiente.....	21
2.9	Ventilação	22
2.9.1	Definição	22
2.9.2	Ventilação geral diluidora (VGD) para remoção de calor sensível.....	22
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Tipo de pesquisa	24
3.2	Materiais e métodos	25
3.3	Variáveis e indicadores	26
3.4	Instrumento de coleta de dados.....	26

3.5	Tabulação de dados.....	27
3.6	Considerações finais	27
4	RESULTADOS	28
4.1	Estudo de caso.....	28
4.1.1	Características da cidade	28
4.1.2	Características Construtivas do aviário	32
4.2	Cálculo da carga térmica.....	32
4.2.1	Irradiação Solar.....	32
4.3	Carga térmica total.....	34
4.4	Vazão de ar	36
4.5	Seleção de placas evaporativas	36
5	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

A avicultura é responsável pela criação de aves para produção de alimentos e é uma importante atividade agropecuária, sendo uma das áreas que mais gerou empregos no Brasil durante 2021 – foram geradas 17.415 novas vagas, segundo dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Novo Caged) encontrado no site da Justiça do Trabalho (Ministério do Trabalho, 2022). O principal ramo da avicultura diz respeito à criação de frango e, em menor escala, à criação de outras aves, como peru, pato, ganso, codorna e avestruz.

Segundo dados da Avicultura blog (Avicultura Blog, 2022), em 2021 o Brasil ocupou a terceira posição na produção de carne de frango, sendo o maior exportador da commodity do planeta. Esse status foi alcançado, principalmente, pela disponibilidade de território para a produção de grãos - base da alimentação dos animais -, pela modernização e organização do setor no sistema de integração vertical e pela ausência das principais doenças avícolas no país, como Influenza Aviária e doença de Newcastle.

Diante desse cenário, garantir condições saudáveis para o crescimento e reprodução dos frangos de corte é extremamente importante. Dois fatores que afetam diretamente a produção desses animais é a temperatura e a umidade relativa do ambiente em que vivem. Como todo ser vivo, o frango possui um gasto calórico para manter sua temperatura interna – o que implica que um ambiente com temperatura e umidade não ideais irão fazer com que a ave gaste mais energia para regular a sua temperatura interna, conseqüentemente consumindo uma maior quantidade de ração para gerar um quilo de carne. Esse fato é denominado estresse calórico nas aves.

Nesse sentido, é essencial que as granjas e galpões de avicultura sejam dimensionados de acordo com a dissipação de calor entre as aves e o meio.

Além disso, atualmente, a pecuária moderna de aves lida com desafios, como a alta concorrência da avicultura para frangos de corte e o aumento desenfreado dos grãos - milho é a principal matéria prima para a ração de frangos de corte -, de modo que se torna cada vez mais necessário a redução de perdas na produção.

Assim, o estudo da carga térmica de um aviário e a aplicação de um sistema eficiente de climatização pode aumentar o conforto térmico dos animais, acarretando maior produtividade.

Posto isso, tem-se a seguinte pergunta problema:

Qual o dimensionamento ideal de um sistema de climatização por placas evaporativas para um aviário localizado na cidade de Luz – MG?

1.2 Justificativa

Um ambiente de criação de aves controlado é necessário para garantir o bem-estar dos animais, visando maior produtividade e qualidade do produto final (TINÔCO *et al.*, 2004).

O ambiente interno, onde os frangos são inseridos, é determinado por fatores físicos, químicos e biológicos, incluindo o ar, a temperatura, a umidade, a luz e a estrutura construída (TINÔCO, 2001). De acordo com alguns autores, entre os fatores ambientais, os térmicos são os que mais afetam as aves, uma vez que comprometem sua função vital mais importante: a manutenção da sua homeotermia. (WELKER, 2008; BARBOSA FILHO, 2009).

A carência de estudos sobre conforto térmico de um aviário, principalmente com enfoque em pequenos produtores, limita o acesso desse público à informação, o que diminui o potencial competitivo desse grupo no mercado agropecuário. Dessa forma, a pesquisa relacionada à climatização do aviário em questão poderá, além de auxiliar o produtor, incentivar outros trabalhadores a desenvolverem uma análise similar, contribuindo para a movimentação de economias locais/regionais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar uma granja de frangos de corte, localizada na cidade de Luz - Minas Gerais (MG), com relação à climatização e geração de conforto térmico para as aves, elucidando o dimensionamento de um sistema de placas evaporativas.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre: Carga térmica, ambiente ideal para aves e modelos de climatização de aviários;
- Elaborar um procedimento metodológico para calcular a carga térmica do aviário, a vazão de ar necessária para climatização do mesmo e dimensionar o sistema de placas evaporativas necessário para manter o conforto térmico das aves;
- Definir a carga térmica do aviário;
- Definir vazão de ar necessária para o conforto térmico do aviário;
- Dimensionar e selecionar as placas evaporativas do sistema.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo eles:

O primeiro capítulo é introdutório, apresentando a formulação do problema, a justificativa da necessidade do estudo aprofundado do tema e os objetivos gerais e específicos do trabalho.

O segundo capítulo contempla uma revisão bibliográfica sobre avicultura, dimensionamento de carga térmica e sistemas de climatização de aviários.

No terceiro capítulo é abordada a metodologia para realização desta pesquisa, são apresentadas as ferramentas, materiais e métodos adotados para solucionar a problemática proposta.

No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da metodologia adotada. Já o quinto capítulo, é a conclusão do trabalho, que tem como objetivo evidenciar todas as considerações finais sobre a pesquisa realizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evolução da avicultura

A avicultura surgiu no Brasil com os pequenos produtores familiares, que estão presentes até os dias atuais em diversas regiões do País. Na década de 70, entraram no mercado as empresas processadoras e especialistas na produção de frango, trazendo com elas inúmeras inovações tecnológicas com técnicas de produção intensiva e o melhoramento da genética que contribuiu para o avanço de toda a atividade (ZEN et al, 2014).

Entre as décadas de 1980 e 1990 a inovação tecnológica voltou-se para o manejo das aves, proporcionando uma melhora no manuseio e conforto dos animais. Dessa maneira, a avicultura passou a ter um desempenho zootécnico melhorado (VASCONCELOS; BASSI; SILVA, 2016).

A partir de 1990, a competitividade na agroindústria proporcionou a reestruturação do mercado visando planos de sobrevivência. A avicultura encontrou nesse período novos mercados agregando valor aos seus produtos. Dessa maneira, percebe-se que “A avicultura brasileira e mundial passou por um notável desenvolvimento e modernização nos últimos 30 anos, atingindo elevados níveis de produtividade” (GIROTTI, 2004).

2.2 Homeotermia e conforto térmico das aves

Animais homeotérmicos, como as aves, são aqueles cuja temperatura corporal é constante, apesar das variações da temperatura externa. Contudo, para realizar esse controle da temperatura interna, as aves necessitam de dietas adequadas e condições ambientais que proporcionem conforto térmico (MIRAGLIOTTA, 2005 *apud* SILVA, 2013).

A zona de conforto térmico ou zona de termoneutralidade, é uma faixa de temperatura ambiente, na qual o animal não sofre estresse pelo frio ou pelo calor. A zona de conforto térmico das aves varia com a idade, o consumo de ração, a atividade e a quantidade de penas (MÜLLER, 1982). Na primeira fase de criação (pintos), a zona de termoneutralidade das aves é de 32 e 34 °C, enquanto, na segunda fase (adultos) o ideal é manter a temperatura ambiente em torno de 20-21°C (MÜLLER, 1982).

A figura 1 demonstra como uma ave relaciona a sua temperatura corporal de acordo com a temperatura do ambiente.

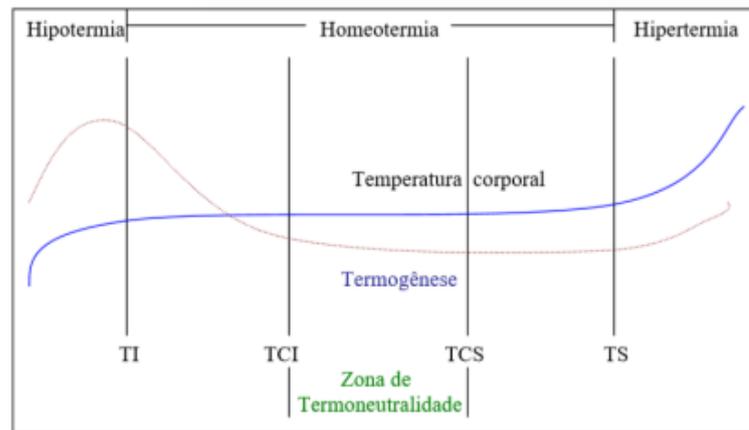


Figura 1: Variações de temperatura corporal em animais homeotérmicos.

Legenda: TI: Temperatura inferior; TCI: Temperatura crítica inferior; TCS: Temperatura superior inferior; TS: Temperatura superior.

Fonte: Bridi (2011)

A figura 1, mostrada acima, é uma representação da temperatura corporal de um animal homeotérmico, no qual a sua temperatura permanece constante entre o limite de temperatura inferior e o limite de temperatura superior. Abaixo da zona de temperatura inferior ou acima da temperatura superior, são as zonas na qual a ave não consegue manter a sua temperatura interna e consequentemente vem a óbito. A zona de termoneutralidade é a zona ideal para a ave, pois é nessa zona em que a ave não tem um gasto calórico para manter a sua temperatura corporal.

Na faixa de conforto térmico, há uma redução da taxa metabólica, de modo que o animal mantém a temperatura corporal com baixa utilização de mecanismos termorreguladores. Assim, a fração de energia destinada à termogênese é mínima e a energia líquida reservada à produção é otimizada (FURLAN, 2007). De maneira contrária, fora da zona de termoneutralidade, os animais respondem com alterações comportamentais e fisiológicas, devido à ativação do centro termorregulador, localizado no hipotálamo (MACARI *et al.*, 1994).

2.3 Fisiologia e controle térmicos das aves

A sensação térmica ou temperatura aparente é a forma com a qual o organismo percebe a temperatura do ar e essa pode diferir da temperatura real. A sensação térmica em um aviário altera-se com o movimento do ar sobre a superfície corporal das aves, o que facilita a perda de calor para o ambiente (MIRAGLIOTTA, 2005). Esse processo é eficiente quando se trata de

condições de altas temperaturas associadas a altas umidades, porém é um agravante ao se tratar de baixas temperaturas (MIRAGLIOTTA, 2005).

As aves, quando expostas ao calor, possuem uma resposta fisiológica compensatória de vasodilatação periférica, resultando em aumento na perda de calor não evaporativo. Com isso, a ave aumenta a sua área superficial, mantendo as suas asas afastadas do corpo, eriçando as penas - o que intensifica a circulação periférica (BORGES; MAIORKA; SILVA, 2003). Outra resposta fisiológica possível, é a perda de calor não evaporativo através do aumento da produção de urina, caso essa perda de água seja compensada pelo maior consumo de água fria (BORGES; MAIORKA; SILVA, 2003). Ademais, as aves também podem aumentar a taxa respiratória, resultando em perdas excessivas de dióxido de carbono (CO_2). Assim, a pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$) diminui, levando à queda na concentração de ácido carbônico (H_2CO_3) e hidrogênio (H^+). Como resultado, os rins aumentam a excreção de HCO_2 e reduzem a excreção de H^+ , na tentativa de manter o equilíbrio ácido-base da ave (BORGES; MAIORKA; SILVA, 2003).

Os mecanismos primários de controle da temperatura de uma ave dependem principalmente do ambiente em que o animal está inserido, sendo esses: convecção, condução e radiação. Esses mecanismos exigem uma diferença de temperatura entre o animal e o seu meio para ocorrer (COLLIER & GEBREMEDHIN, 2015).

Dessa forma, a condução é o processo de transferência de energia através de um meio material, sem transporte de matéria. A energia se propaga de partícula para partícula, sendo mais comum nos materiais sólidos (QUITES; LIA, 2005). Já a convecção é o processo de transferência de energia de um lugar para o outro pelo deslocamento do meio material, através de correntes que se estabelecem no interior do meio (QUITES; LIA, 2005). Por fim, a radiação é o processo de transferência de energia de uma superfície em alta temperatura para uma superfície mais baixa quando tais superfícies estão separadas no espaço, ainda que exista vácuo entre elas. É feita sob a forma de ondas eletromagnéticas (QUITES; LIA, 2005)

Borges et al. (2003) buscaram representar, esquematicamente, as respostas das aves ao estresse por calor, conforme apresentado na Figura 2.

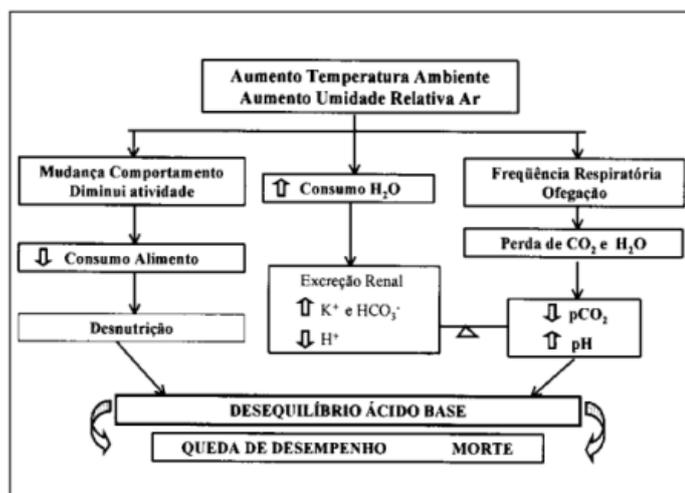


Figura 2: - Respostas fisiológicas das aves ao estresse calórico.

Fonte: BORGES et al., 2003.

Outro efeito do estresse acarretado por altas temperaturas, que afeta a produtividade, é a redução do consumo de ração. Visando diminuir a produção de calor interno, as aves reduzem o consumo de ração. Tanto a digestão quanto a absorção dos nutrientes geram energia, que liberada na forma de calor resulta em “incremento calórico”. Com isso as aves, passam a utilizar a gordura corporal como fonte de energia, pois esta produz um menor “incremento calórico” se comparado ao metabolismo de proteínas e carboidratos da ração. A redução no consumo de ração leva a uma redução na ingestão de nutrientes, o que tem implicação direta na produtividade do lote, ocorrendo uma redução no ganho de peso das aves (NASCIMENTO e SILVA, 2010).

2.4 Influências ambientais no controle térmico das aves

A umidade relativa (UR) do ar é a relação entre a quantidade de água dispersa no ambiente e a quantidade máxima que poderia ocorrer na mesma temperatura, atingindo o ponto de saturação (ZANOLLA, 1998). Segundo Donald (1998), a umidade relativa relaciona-se inversamente com a temperatura do ambiente, de maneira que, ao se aumentar a temperatura, reduz-se a umidade presente. Além disso, quanto maior a umidade, maior a sensação térmica - tanto para frio se houver corrente de vento, quanto para calor em ambiente sem ventilação do ar. Nesse caso, pode-se dizer que a ventilação tem um papel importantíssimo na manutenção da qualidade do ar em relação à temperatura e poluentes, pois pode resfriar as aves no momento oportuno e atribuir nebulização à ventilação, levando ao ar um maior grau de pureza (DONALD, 1998).

A UR também é importante para a qualidade da cama dos aviários, pois quando apresenta valores abaixo de 55% permite dispersão de poeira no ambiente, elevando os riscos de doenças respiratórias, tanto nas aves quanto para humanos que trabalham nas atividades de manejo dos aviários. Por outro lado, umidades relativas acima de 70 % pioram a qualidade da cama e favorecem o desenvolvimento bacteriano, aumentando os riscos sanitários e zootécnicos (MIRAGLIOTTA, 2005).

O controle da temperatura e da umidade do ambiente é fundamental para a manutenção da zona de conforto térmico das aves, sobretudo, nas fases finais do processo produtivo, quando já estão próximas de serem abatida, já que, nesse período, aumentam seu consumo de ração e, conseqüentemente, sua taxa metabólica e sua temperatura corporal (CASSUCE, 2011). O estresse gerado por uma temperatura ambiente inadequada afeta negativamente a produtividade dos animais, já que altera a taxa de transferência de calor com o ambiente e modifica as taxas de consumo de alimentos, de ganho de peso corporal e, conseqüentemente, as exigências nutricionais (CURTIS, 1983 *apud* CONSTANTINO, 2018).

2.5 Transferência de Calor

A transferência de calor, segundo Çengel e Ghajar (2011), pode ser entendida como a ciência que aborda o quanto de calor que é transferido de um sistema para o outro, passando por um processo de equilíbrio, sem referência de tempo para que esse processo ocorra.

Incropera et al. (2008) define a transferência de calor como a energia térmica em trânsito devido a uma desigualdade de temperaturas no espaço. Mostra ainda, que em um meio ou entre meios, sempre que houver diferenças de temperaturas existirá a transferência de calor.

De acordo com Incropera et al. (2008), é importante que engenheiros saibam os mecanismos físicos que trazem o fundamento dos modos de transferência de calor e saibam usar as equações de taxa da quantidade de energia transferida por unidade de tempo. Os mecanismos são condução, convecção e radiação.

2.5.1 Condução

A transferência de energia resultante da interação de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas que estão bem próximas entre si, é denominado de condução. (ÇENGEL; GHAJAR, 2011).

Holman (1999) explica que sempre que existir uma diferença de temperatura em um corpo, existirá uma transferência de energia do local de maior temperatura para o local de menor temperatura. É mostrado que a energia é transferida por condução e que a taxa de transferência de energia por unidade de área tem proporção com a diferença de temperatura.

Çengel e Ghajar (2011) mostram que a taxa de condução de calor é dada pela seguinte equação:

$$\text{Taxa de condução de calor} \propto = (\text{Área}) * \frac{\text{Diferença de Temperatura}}{\text{Espessura}} \quad (1)$$

Também pode ser descrita da seguinte maneira:

$$Q_{cond} = k * A * \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -k * A * \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (2)$$

Sendo:

- Q_{cond} : a taxa de condução de calor, a qual a unidade é Watt (W).
- k : condutividade térmica do material, que é uma constante de proporcionalidade do material, isto é, a propriedade, em valor, do material de conduzir calor (ÇENGEL; GHAJAR, 2011). Encontrada em tabelas e também pode ser calculada. No sistema SI, a unidade é (W/m.K).
- T_1 e T_2 : Temperaturas superficiais do corpo por onde a transferência de calor (K).
- Δx : espessura da camada (m).
- A : Superfície de troca térmica (m²).

A figura 3 representa esquematicamente a condução de calor em um corpo ou fluido estacionário:

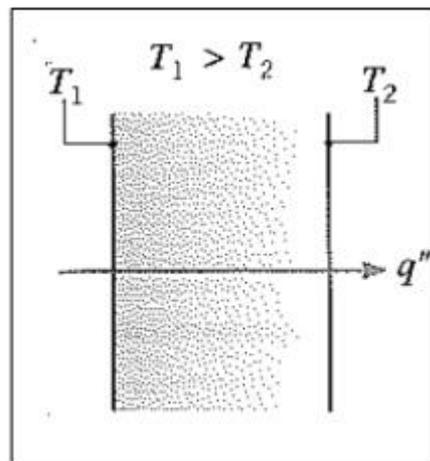


Figura 3: Condução através de um sólido ou fluido estacionário.
Fonte: INCROPERA et al., 2008, p.2.

2.5.2 Convecção

Convecção, segundo Çengel e Ghajar (2011), é a forma de transferência de calor que se dá entre uma superfície líquida ou gasosa, a qual está em movimento, em relação a uma superfície sólida, que assim mesclam os efeitos da condução e da movimentação de fluido.

De acordo com Incropera et al. (2008), a convecção abrange dois mecanismos de transferência de calor, a de troca de energia devido a movimentação difusa das moléculas e também a energia transferida com a movimentação global do fluido. O fluido em movimento está associado, em um instante qualquer, a um grande número de moléculas em movimento coletivo ou como um agregado. Esse movimento, com uma diferença de temperatura, contribui com a transferência de calor.

Çengel e Ghajar (2011) explicam que embora apresente uma certa complexidade, a taxa de transferência de calor por convecção é proporcional a diferença de temperatura, sendo expressa conforme a lei de Newton de resfriamento:

$$Q_{conv} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

Sendo:

- Q_{conv} : é a taxa de transferência de calor por convecção (W).
- h : é o coeficiente de transferência de calor por convecção. Uma propriedade característica de cada fluido, adquirida experimentalmente. Dada pela unidade no SI por (W/m².K).
- A_s : é área superficial a qual ocorre transferência de calor por convecção (m²).
- T_s : é a temperatura da superfície.
- T_{∞} : é a temperatura do fluido que está suficientemente longe da superfície.

A figura 4 mostra o esquema da transferência de calor por convecção entre uma superfície e um fluido.

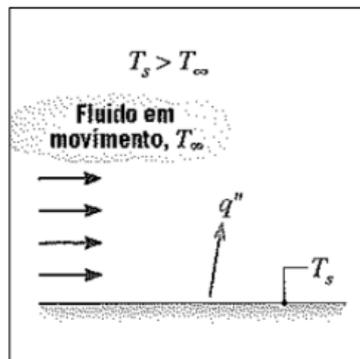


Figura 4: Convecção de uma superfície para um fluido em movimento.
Fonte: INCROPERA et al., 2008, p. 2.

2.5.3 Radiação

A radiação térmica é a energia emitida pelo corpo que se encontra em uma temperatura diferente do zero absoluto. A emissão de energia pode ser relacionada a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que formam a matéria (INCROPERA et al., 2008).

Çengel e Ghajar (2011) afirmam que o mecanismo de transferência de calor por radiação é dado a partir da emissão de ondas eletromagnéticas e não necessita da existência de um meio mediador. De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann da radiação térmica, a maior taxa de radiação que pode ser emitida por uma superfície é aquela emitida por um corpo negro. A taxa máxima de radiação emitida por uma superfície é dada por:

$$Q_{max} = \sigma * A_s * T_s^4 \quad (4)$$

Sendo:

- Q_{max} : taxa máxima de radiação emitida por uma superfície (W).
- σ : constante de Stefan-Boltzmann que é igual a $5,675 * \frac{10^{(-8)}W}{m^2 * K^4}$
- T_s : temperatura termodinâmica na qual o corpo negro é encontrado (K).
- A_s : área da superfície de transferência de calor (m^2).

Çengel e Ghajar (2011) apresentam que as superfícies que não são um corpo negro exibem uma taxa de emissão com a seguinte expressão:

$$Q_{emit} = \epsilon * \sigma * A_s * T^4 \quad (5)$$

Em que o ε representa a emissividade da superfície, com os valores entre 0 e 1, mostrando como o comportamento superficial se aproxima de um corpo negro, o qual tem a emissividade igual a 1. (ÇENGEL; GHAJAR, 2011)

A figura 5 mostra esquematicamente a troca de calor por radiação entre duas superfícies.

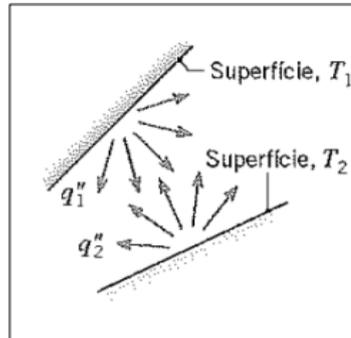


Figura 5: Troca líquida de calor por radiação entre duas superfícies.
Fonte: INCROPERA et al., 2008, p. 2.

2.6 Instalações aviárias

Sobre a manutenção dos ambientes avícolas, nos últimos anos as instalações tornaram-se fator decisivo no sucesso da criação de aves. Com isso, muitos estudos apontam que a modernização das estruturas de criação contribui significativamente para a aceleração do crescimento das aves (BRIDI, 2006). De acordo com Tinôco (2004), um ambiente é considerado confortável para produção de frango de corte na fase adulta quando apresenta temperaturas na faixa de 15 a 26 °C e UR entre 50 e 70%.

A localização e a orientação de um aviário, principalmente aviários abertos na lateral, é de suma importância para garantir a isolamento interna. No hemisfério do nosso país (hemisfério sul), as granjas devem ser orientadas no sentido leste-oeste para que no verão haja menor incidência de radiação solar no interior das mesmas (BRIDI, 2006).

Para aviários convencionais, faz-se necessário um estudo detalhado de cada caso a fim de adequá-los a exigência dos patamares produtivos e normas de bem estar animal, instalando equipamentos que ajudam no controle da ambiência como ventiladores, exaustores e fornalhas automáticas (SOUSA, 2002). Essas instalações em grande parte dos casos são desprovidas de equipamentos de arrefecimento, dependendo apenas de ventilação natural pelo manejo de cortinas. Para esse tipo de instalação o telhado deve ser utilizado como barreira estratégica na redução da carga térmica radiante incidente, reduzindo o fluxo de calor no interior da instalação. Um bom material para cobertura deve apresentar alta refletividade solar associada à baixa emissividade térmica e absorvidade. O melhor material e o mais comum que atua reduzindo a

carga de radiação são as telhas de barro, seguidas das telhas de cimento amianto pintadas de branco e alumínio, respectivamente (BRIDI, 2006).

Existem basicamente duas formas de promover artificialmente a movimentação do ar no interior dos aviários e controlar temperatura e umidade: por pressão negativa (Sistemas Dark House) - o ar é succionado por exaustores de dentro para fora, criando um vácuo parcial no interior da construção; desse modo, succionando o ar externo rico em O₂ para o interior da instalação - e por pressão positiva (modelos convencionais) (GALLO, 2009).

2.7 Climatização de galpões avícolas

2.7.1 Ventilação Natural

A ventilação natural pode ser definida como a movimentação do ar através de construções abertas. Este movimento do ar pode ocorrer em função da diferença de pressão existente entre o exterior e interior da instalação, ventilação dinâmica; ou em função da diferença de temperatura entre o ar interno e externo, ventilação térmica (BAÊTA e SOUZA, 2010).

A tipologia de instalação mais utilizada para a produção de aves de corte no Brasil é a de estruturas abertas, com as laterais cobertas com cortinas. A ventilação nestas instalações é controlada principalmente pela abertura e fechamento das cortinas, com base nas temperaturas internas da instalação.

Embora seja extremamente viável potencializar ao máximo o uso da ventilação natural, esse modelo de instalação nem sempre permite o controle da qualidade do ar (ventilação higiênica), em níveis satisfatórios. Assim, a manutenção dos níveis adequados de oxigênio, bem como eliminação dos gases nocivos produzidos no aviário, como por exemplo, amônia e CO₂, bem como do excesso de umidade e odores, além do controle da temperatura e umidade relativa do ar (ventilação térmica), nem sempre é possível com o uso exclusivo da ventilação natural (TINÔCO, 2001; BAÊTA e SOUZA, 2010).

A figura 6 mostra um modelo de aviário vazio, porém construído com o propósito de ventilação natural.



Figura 6: Aviário de ventilação natural
Fonte: Rondon estruturas(2022)

2.7.2 Ventilação mecânica

Dentre as principais vantagens da ventilação mecânica, pode-se citar a maior homogeneidade da distribuição do ar, a possibilidade de se controlar a taxa de ventilação, por meio de exaustores e ventiladores, bem como a possibilidade de se tratar o ar. (MENDES, 2015)

A ventilação mecânica em aviários pode ser introduzida de duas formas distintas: por pressão negativa ou por pressão positiva. No primeiro sistema o ar é retirado do interior da instalação por exaustores, induzindo a renovação do ar interno da instalação. Neste sistema, os exaustores são alocados em extremidades opostas a entrada de ar. No sistema de ventilação por pressão positiva utiliza-se ventiladores para forçar a entrada de ar na instalação. (MENDES, 2015)

Um dos principais problemas apresentados pela utilização de uma elevada taxa de ventilação está relacionado com o efeito desta sobre o equilíbrio de água no corpo das aves, devido à perda de água através da pele (YAHAV et al., 2005).

A figura 7 demonstra o modelo mais simples de aviário por ventilação mecânica, sendo instalado diversos ventiladores no interior do ambiente.



Figura 7: Aviário por ventilação mecânica
Fonte: Cidasc (2017)

2.7.3 Sistemas de resfriamento por placas evaporativas para granjas de corte

Diante desse cenário, embora algumas alternativas tenham sido sugeridas para manter a temperatura das aves dentro da zona de termoneutralidade, em muitos casos, principalmente em regiões quentes, pode ser que sejam insuficientes para manter a temperatura ambiente de acordo com as exigências das aves, sendo necessário promover o resfriamento do ar. Índices satisfatórios de produtividade e menor mortalidade podem ser resultados da utilização de alguns métodos de resfriamento (ABREU; ABREU; MAZZUCO, 1999).

O sistema de resfriamento evaporativo consiste na passagem do ar quente (externo), pelas placas evaporativas, gerando uma corrente de ar frio, limpo e úmido e reduzindo em até 12° a temperatura interna do aviário (ABREU; ABREU; MAZZUCO, 1999).

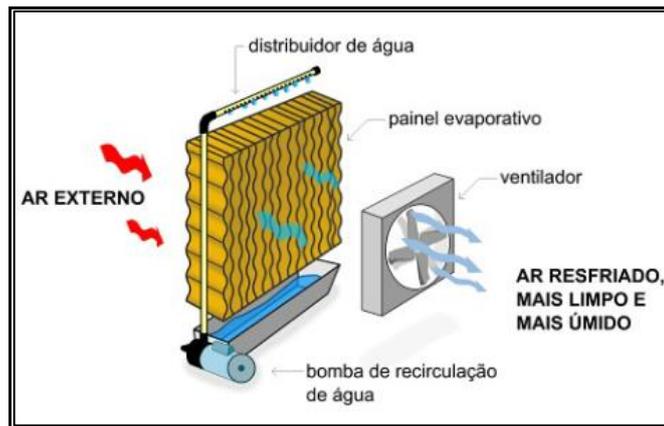


Figura 8: Sistema de placas evaporativas.
Fontes: NATUREBRISA, 2018.

O Pad Cooling é o sistema de resfriamento evaporativo geralmente utilizado em aviários. Nele, os painéis localizam-se nas laterais do aviário, utilizando, dessa forma, o sistema de túnel de vento, para promover um resfriamento uniforme do ambiente. Para montagem dos painéis, deve existir um sistema de bombeamento e distribuição de água, para que se mantenham umedecidos de forma uniforme e a água utilizada não seja desperdiçada (CONSTANTINO, 2018).

No sistema tradicional de resfriamento evaporativo, uma tubulação de PVC, localizada na parte superior do painel evaporativo, contém pequenos furos para a distribuição da água bombeada. A água que infiltra o painel forma um filme em sua superfície interna e o ar passa através de pequenas aberturas, criando uma condição propícia para a evaporação. A água remanescente é coletada por uma calha e reutilizada pelo sistema (CONSTANTINO, 2018).

O sistema de nebulização, também um método de resfriamento evaporativo, controla a umidade do ar e a temperatura em ambientes controlados. Nesse caso, ocorre a emissão de pequenas partículas de gotas de água, que formam uma névoa no ambiente. Essa névoa é direcionada a grandes áreas do local, abaixando a temperatura e controlando a UR. O sistema é estabelecido com diversos materiais, como bombas, vedações, tubulações e outros componentes que necessitam de prévia projeção para que o sistema comporte a demanda (CONSTANTINO, 2018).

Em casos onde o produtor não dispuser de condições econômicas suficientes para utilizar o sistema de resfriamento evaporativo, um sistema de ventilação natural deve ser implantado (CONSTANTINO, 2018).

A figura 9 demonstra o funcionamento de um aviário por placas evaporativas por pressão negativa. Os exaustores no interior do aviário fazem a sucção do ar interno, gerando uma pressão menor dentro do aviário. O ar, por consequência, tende a adentrar dentro do

aviário, tendo como único ponto de entrada, a placa evaporativa. Já a figura 10, apresenta um aviário utilizando o sistema de placas evaporativas.

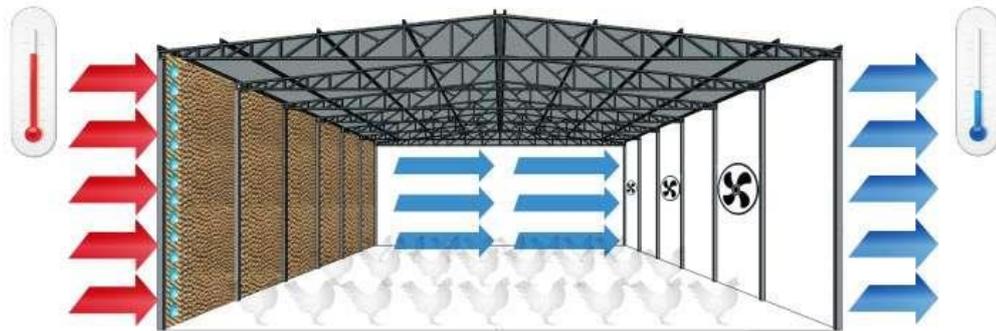


Figura 9: Representação do funcionamento de um aviário por placas evaporativas
Fonte: Climatização Masser (2020)



Figura 10: Aviário utilizando o sistema de placas evaporativas
Fonte: Embrapa (2006)

2.8 Carga térmica

A carga térmica de um ambiente pode ser definida como a soma de todas as formas de calor existentes dentro de um recinto. O cálculo da carga térmica em um recinto leva em consideração os ganhos e perdas por trocas térmicas em diversas superfícies, como as paredes e coberturas da construção, portas, janelas e também as parcelas de calor oriundas de pessoas, lâmpadas e equipamentos (BORRÉ, 2013).

Segundo Menzes (2005), a carga térmica é a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema, por unidade de tempo, objetivando a manutenção de determinadas condições térmicas.

Macintyre (1990) mostra a carga térmica gerada devido as características do ambiente e a diferença de temperatura no interior e exterior do recinto vem de algumas fontes, como:

- Irradiação solar sobre paredes externas e coberturas;

- Condução pelas paredes, pisos, tetos, vidros etc.;
- Dissipação de calor pelos equipamentos e seres vivos que estão no interior (motores, aves, pessoas, iluminação, etc.).

2.8.1 Carga térmica devido a insolação:

A energia solar é a maior energia que a superfície da Terra recebe do universo, a qual o ser humano aproveita como fonte térmica. Essa energia, na maioria dos casos, é responsável por parcela significativa de carga térmica nos cálculos de refrigeração de ambientes. A absorção da energia solar nas superfícies é de acordo com as características da mesma, e pode ser maior ou menor de acordo com a reflexão proporcionada (CREDER, 2004).

Segundo Borré (2013), é através da intensidade da radiação incidente e as propriedades térmicas das superfícies externas da construção que se poderá determinar o ganho de calor. Os fatores que fornecem a variação da insolação, são:

- Tipo de superfície;
- Tipo de material da superfície;
- Área útil;
- Orientação solar;
- Sombreamento;
- Estação do ano.

Os elementos os quais compõem as construções, quando estão sobre a incidência de raios solares, diretos ou difusos, podem ter a classificação como opacos e transparentes. Nos materiais opacos a radiação é absorvida e refletida dependendo da sua característica. Assim, através das características de refletividade e a absorvidade, determina-se as proporções de energia refletida e absorvida, respectivamente (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O cálculo para o ganho de calor pela radiação solar é dado pela equação:

$$\Phi = U * A * (T_{solar} - \theta_i) \quad (7)$$

Sendo:

- Φ = ganho de calor pela radiação solar (W);
- U = transmitância térmica (W/m².K).
- A = área da superfície externa (m²).
- θ_i : temperatura interna (K)

T_{solar} representa a temperatura da combinação do efeito da radiação solar incidente e a convecção e radiação que ocorre entre o meio externo e essa superfície. Nesse caso o coeficiente de absorção (α) e a emissividade (ϵ) do material fazem intervenção das características. A equação, para planos horizontais (coberturas), da carga térmica gerada fica:

$$\phi = U * A * (\theta_e + \alpha * RS * R_{se} - 4 - \theta_i) \quad (8)$$

Sendo:

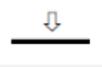
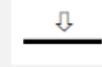
- ϕ : fluxo de calor (W).
- R_{se} : resistência superficial externa ((m².K)/W).
- RS: radiação solar (W/m²).

Para planos verticais, a equação do fluxo de calor fica:

$$\phi = U * A * (\theta_e + \alpha * RS * R_{se} - \theta_i) \quad (9)$$

Os valores da resistência superficial externa podem ser conferidos na tabela 1:

Tabela 1: Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si}(m^2 \cdot K)/W$			$R_{se}(m^2 \cdot K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 7.

Outra característica térmica necessária para os cálculos é a absorvidade (α) que as superfícies dos materiais apresentam. A tabela 2 mostra alguns valores em superfícies comumente usadas e também mostra a emissividade (ϵ).

Tabela 2: Absortividade (α) (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para alguns tipos de superfície

Tipo de superfície		α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12 / 0,15	0,9
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	"Alumínio"	0,40	0,50
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 8.

A resistência térmica (R) e a transmitância térmica/coeficiente global de transferência de calor (U), que é o fluxo de calor transmitido por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura, pode ser calculada, a partir da condutividade térmica, significa a habilidade do material em conduzir energia térmica, por unidade de espessura. E também pode ser encontrada em catálogo de fabricantes ou em estudos feitos em diversos materiais. A equação da resistência e da transmitância é dado por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (10)$$

$$U = \frac{1}{R} \quad (11)$$

Sendo:

- R : resistência térmica ($m^2 \cdot ^\circ C/W$).
- e : espessura (m).
- λ : condutividade térmica ($W/m^\circ C$).

- U: transmitância térmica (W/m².°C).

Cada tipo de material apresenta propriedades distintas como a condutividade térmica (λ), massa específica ou densidade (ρ) e calor específico (c). Na figura 7 são apresentados alguns valores dessas características para diferentes materiais.

Tabela 3: Materiais e sua condutividade térmica (λ), densidade específica (ρ) e calor

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliesteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 10.

2.8.2 Carga térmica devido as aves no ambiente

Segundo Silva et al. (2007), a carga térmica gerada em um ambiente devido as aves pode ser descrita através da fórmula:

$$Q_{aves} = 9,84 * Ma^{0,75} * (4 * 10^{-5} * (20 - T_{bs})^3 + 1)) \quad (12)$$

Sendo:

- Qaves: A carga térmica gerada por uma ave (W);
- Ma: Massa média da ave (kg);
- Tbs: Temperatura de Bulbo seco (°C).

2.9 Ventilação

2.9.1 Definição

De acordo com Macintyre (1990), ventilação pode ser descrita como uma deslocação de ar. A renovação do ar permite até um determinado ponto, controlar a temperatura e a umidade de um recinto fechado.

Segundo Macintyre (1990, p.1):

A Ventilação Industrial é em geral entendida como a operação realizada por meios mecânicos que visem a controlar a temperatura, a distribuição do ar, a umidade e a eliminar agentes poluidores do ambiente, tais como gases, vapores, poeiras, fumos, névoas, microrganismos e odores, designados por “contaminantes” ou “poluentes”.

2.9.2 Ventilação geral diluidora (VGD) para remoção de calor sensível

A ventilação geral diluidora, além de diminuir a concentração de contaminantes no ar no interior dos recintos, também é usada para ventilar aviários, caldeiras e outros ambientes com grande geração de calor. Diante disso, o balanço energético é calculado para a determinação da vazão de ar a ser insuflada, Q_e , para somente a remoção de calor sensível. (CLEZAR; NOGUEIRA, 2009).

Sendo assim, a vazão de ar necessária pode ser calculada por:

$$Q_e = \frac{Q_t}{c_p * \rho_e * \Delta T} \quad (13)$$

Onde:

- Q_e : Vazão de ar necessária (m³/s).
- Q_t : Carga térmica total (W).
- c_p : Calor específico do ar (J/(kg*°C)).

- ρ_e : Massa específica do ar externo (kg/m^3).
- ΔT : Diferença de temperatura entre ambiente externo e interno ($^{\circ}\text{C}$).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo estão contidas as características de desenvolvimento do estudo, os procedimentos realizados, bem como os materiais utilizados para realização da pesquisa.

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa pode ser definida como, basicamente, um processo sistemático e formal de desenvolvimento de método científico. Seu principal objetivo é conhecer respostas para determinadas problemáticas com auxílio de procedimentos científicos (GIL, 2008).

Uma pesquisa pode ser classificada quanto aos objetivos, podendo ser exploratória, descritiva e explicativa. A Pesquisa exploratória tem como intuito, esclarecer e desenvolver conceitos, mostrando perguntas que podem ser pesquisas em outro momento. A pesquisa descritiva tem como seu intuito, observar, analisar e descrever, através de dados, as características do evento em questão. Já a pesquisa explicativa tem como seu intuito, identificar a contribuição ou determinação de fatores que influenciam nos fenômenos observados, aprofundando o conhecimento e esclarecendo conceitos (GIL, 1991).

Este presente trabalho tem um objetivo descritivo, pois irá observar e analisar um empreendimento e dimensionar um sistema de climatização para esse negócio.

A pesquisa também pode ser dividida em qualitativa e quantitativa. A pesquisa qualitativa trata de um problema com um nível de realidade onde não pode ou não deveria ser quantificado (MARCONI; LAKATOS, 2021). Na pesquisa quantitativa prevalece a preocupação estatístico-matemática e tem como objetivo ter acesso racional aos fenômenos examinados. (MARCONI; LAKATOS, 2021).

Essa pesquisa tem caráter quantitativo, visto que será trabalhado um sistema de climatização que será transcrito em resultados.

Vergara (2016) em uma de suas classificações, divide a pesquisa em:

- Pesquisa de campo: é uma investigação realizada no local onde ocorreu o fenômeno, ou que dispõe de elementos para explica-lo.
- Pesquisa de laboratório: é realizada em um local determinado e controlado, simulações em computador situam-se nessa classificação.
- Documental: é realizada em documentos conservados no interior de órgãos públicos ou privados.
- Bibliográfica: estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado, ou seja, desenvolvido com material acessível ao público geral.

- Experimental: investigação empírica onde o pesquisador controla variáveis e observa os fenômenos.
- *Ex post facto*: refere-se a um fato já ocorrido. Se aplica quando o pesquisador não tem condições de reproduzir o fenômeno em um laboratório por exemplo.
- Participante: a relação entre pesquisador e pesquisado se estreita, ou seja, da pesquisa tomam parte pessoas implicadas no problema sob investigação.
- Pesquisa-ação: supõe intervenção participativa na realidade social.
- Estudo de caso: tem um caráter de detalhamento em um determinado caso.

Este trabalho se caracteriza como uma pesquisa bibliográfica, uma pesquisa de campo e um estudo de caso, pois utiliza de visitas técnicas a locais já climatizados e será realizado um estudo de caso para aplicação no empreendimento em questão.

Para entender melhor a metodologia usada neste trabalho, está explicado e demonstrado abaixo mais detalhes acerca dos materiais necessários, dos métodos, das variáveis necessárias e das ferramentas que serão usadas.

3.2 Materiais e métodos

Os métodos podem ser definidos como uma observação sistemática dos fenômenos através de uma sucessão de passos, orientados por conhecimentos teóricos, buscando explicar a causa desses fenômenos (GOLDENBERG, 1997).

Sendo assim, a figura abaixo demonstra o passo a passo que será utilizado presente trabalho:

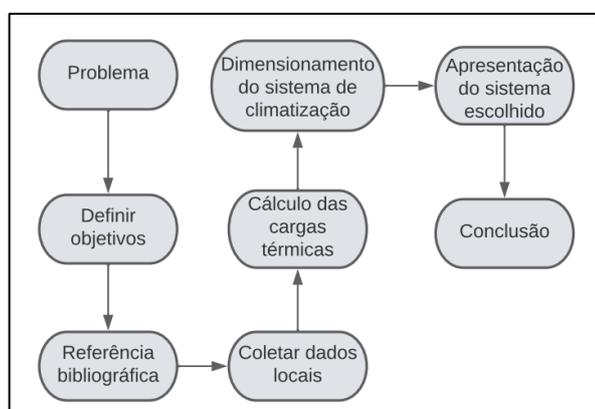


Figura 11: Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa.
Fonte: Pesquisa direta (2022)

A concepção e a formulação da pergunta problema é o que dá origem a um trabalho. Após isso, a definição dos objetivos é necessária. A próxima etapa é a revisão bibliográfica, ou

seja, o levantamento de todas as pesquisas previamente feitas acerca do assunto, bem como o estudo de conceitos importantes que será utilizado ao longo do trabalho.

A etapa seguinte é a coleta dos dados locais para dar início nos cálculos da etapa a frente. Através da coleta de dados locais, se inicia o cálculo da carga térmica.

Com o cálculo da carga térmica concluída, é possível fazer a seleção do equipamento de climatização e posterior apresentação desse sistema.

A última etapa é a conclusão de todo o trabalho.

3.3 Variáveis e indicadores

Segundo Gil (2002, p. 19), o conceito de variável refere-se a “tudo aquilo que pode assumir diferentes valores ou diferentes aspectos, segundo os casos particulares ou as circunstâncias”. Ele ainda ressalta que o termo “variável”, é um dos termos mais empregados na linguagem utilizada pelos pesquisadores, e tem o objetivo de conferir maior precisão aos enunciados científicos.

Para o entendimento de cada variável, interessam alguns indicadores que são escolhidos de acordo com a pesquisa e seus objetivos, recebendo a classificação de quantitativa e qualitativa. A tabela 3 apresenta as variáveis e seus indicadores abordados nesse trabalho:

Tabela 4: Tabela de variáveis e indicadores

VARIÁVEIS	INDICADORES
CARGA TÉRMICA	Irradiação Condução Temperatura interna e externa
VENTILAÇÃO	Vazão de ar
PAINEL EVAPORATIVO	Altura Espessura Largura Quantidade

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Instrumento de coleta de dados

Para o desenvolvimento de um trabalho científico quantitativo, a definição do instrumento de coleta de dados é necessária.

Como mencionado acima, o *software Excell* será usado em um computador para realização dos cálculos e respectiva coleta de dados.

3.5 Tabulação de dados

Esta etapa será desenvolvida através da coleta de dados do empreendimento.

Para busca de dados mais confiáveis, serão utilizados os softwares RADIASOL e GRAPSI. Assim os cálculos são realizados de acordo com as informações coletadas. Esses dados serão postos em uma tabela, no software EXCEL com intuito de facilitar a avaliação e análise dos dados obtidos.

3.6 Considerações finais

O presente capítulo abordou sobre os tipos de pesquisa, bem como os métodos e os materiais que serão utilizados neste trabalho. Além disso, definiu-se as variáveis e os indicadores analisados, bem como os instrumentos de coleta e tabulação de dados.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados obtidos durante a pesquisa.

4 RESULTADOS

O presente capítulo mostra os cálculos realizados e os resultados obtidos para o dimensionamento de um sistema de climatização para um aviário de corte. Equipamentos são selecionados para garantir a climatização adequada.

4.1 Estudo de caso

Um aviário precisa de um sistema de climatização para manter a temperatura ideal para os animais. A figura 12 abaixo mostra o desenho esquemático desse aviário, enquanto a figura 13 refere-se ao aviário real analisado. Esse aviário fica na cidade de Luz, Minas Gerais, em um local onde não há sombreamento incidente sobre o mesmo.

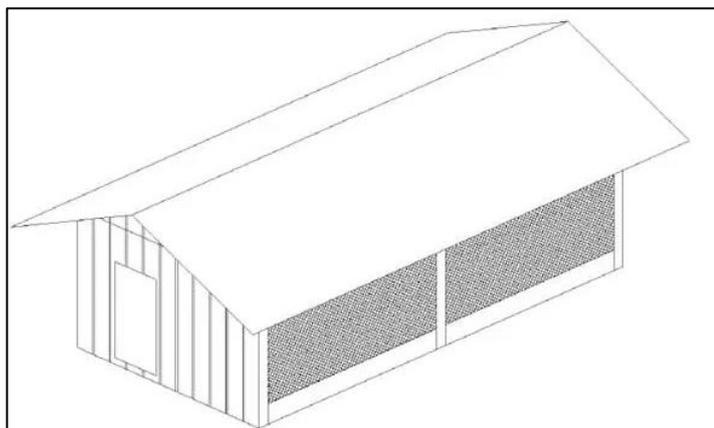


Figura 12: Desenho esquemático de um aviário
Fonte: Engormix (2022)



Figura 13: Aviário em análise localizado em Luz - Minas Gerais
Fonte: Pesquisa direta (2022).

4.1.1 Características da cidade

A cidade onde está instalado o aviário é Luz – Minas Gerais, a qual tem a latitude de 19,48° Sul e longitude 45,41° Oeste. Segundo dados do Cresesb (Centro de Referência para

Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2020) a cidade recebeu a irradiação solar média mensal de acordo com o gráfico da figura 14.

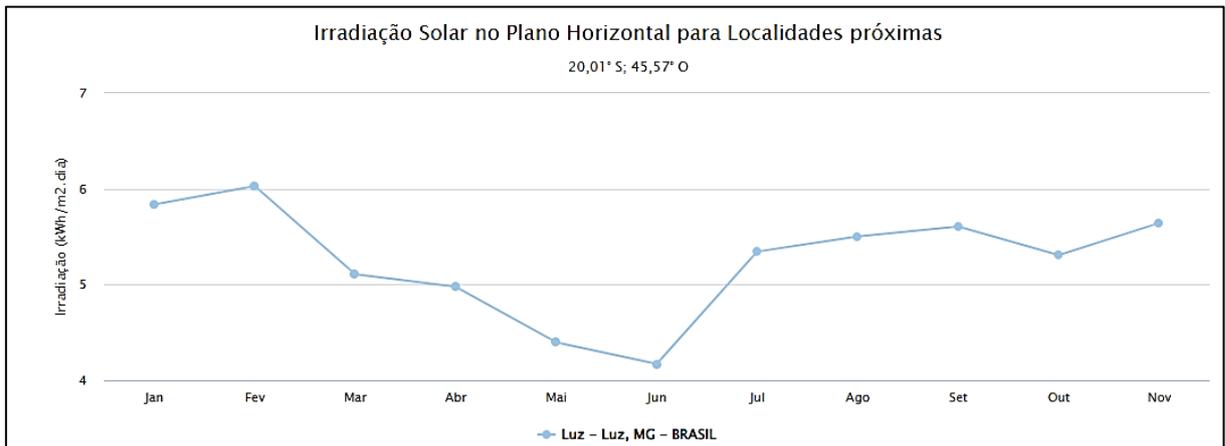


Figura 14: Média da radiação solar na cidade de Luz - Minas Gerais
Fonte: Cresesb (2022)

De acordo com dados do clima tempo, a média máxima no mês de maior radiação (fevereiro) foi de 29°C, conforme as figuras 15 e 16.

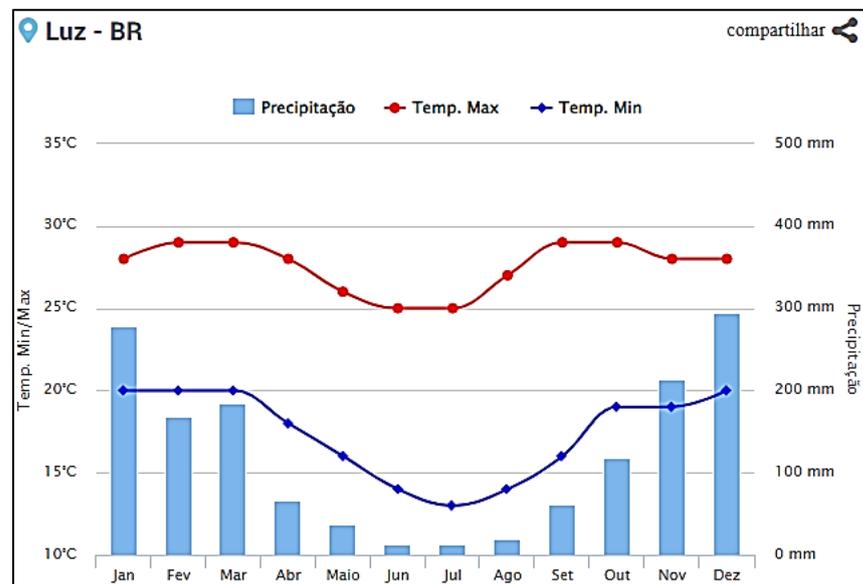


Figura 15: Gráfico da média de temperaturas máximas e mínimas na cidade de Luz - MG
Fonte: Climatempo (2022).

Mês	Minima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	20°	28°	278
Fevereiro	20°	29°	169
Março	20°	29°	184
Abril	18°	28°	66
Maio	16°	26°	38
Junho	14°	25°	13
Julho	13°	25°	13
Agosto	14°	27°	19
Setembro	16°	29°	62
Outubro	19°	29°	118
Novembro	19°	28°	213
Dezembro	20°	28°	295

Figura 16: Tabela de médias de temperaturas máximas e mínimas na cidade de Luz - MG
Fonte: Climatempo (2022)

Utilizando os dados da Cresesb e do Climatempo, pode-se observar que fevereiro foi o mês de maior irradiação e com a temperatura máxima média maior. Utilizando o software Radiasol e seu banco de dados verificou-se que não havia os dados para Luz, então foi utilizado os dados de uma cidade próxima e com dados bem parecidos, a cidade de Bambuí – Minas Gerais. Com os dados do Radiasol observou-se que no dia 16 de fevereiro ocorreu a maior radiação solar do ano. A figura 17 mostra a interface inicial do software, onde se entra com a localidade desejada.



Figura 17: Interface do software Radiasol
Fonte: Pesquisa direta (2022).

A figura 18 apresenta a interface do software onde se escolhe o ângulo de inclinação da superfície e em qual orientação essa superfície está localizada.

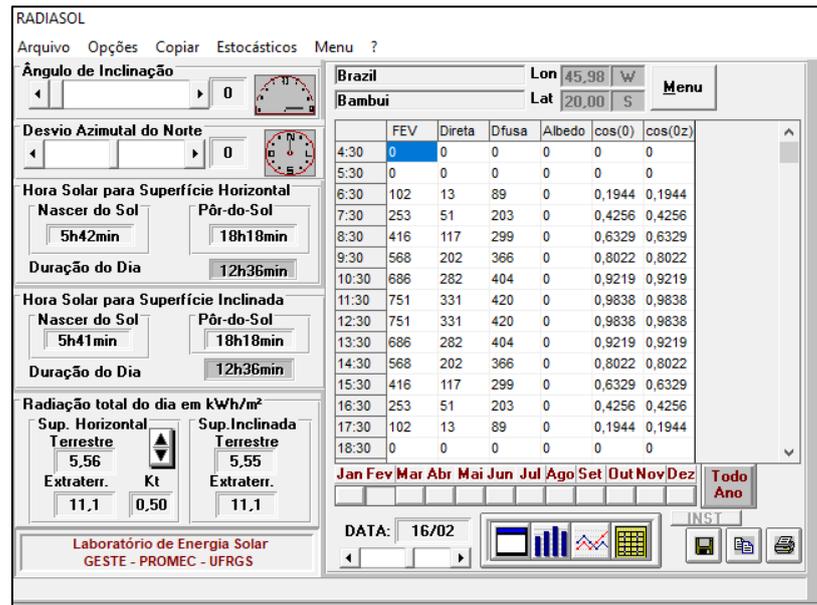


Figura 18: Interface do Radiasol para a localidade e orientação escolhida
Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Foram extraídas as informações sobre radiação dos planos verticais norte, sul, leste e oeste e também do plano horizontal. A tabela 5 mostra as radiações de cada plano por hora do dia 16 de fevereiro.

Tabela 5: Radiações de cada plano por hora do dia 16 de fevereiro

Hora	Plano Horizontal	Plano vertical norte	Plano vertical Sul	Plano Vertical Leste	Plano vertical Oeste
6:30	102	51	62	124	60
7:30	253	114	123	241	132
8:30	416	116	166	326	182
9:30	568	217	202	358	209
10:30	686	256	224	329	225
11:30	751	276	234	277	234
12:30	751	276	234	234	277
13:30	686	256	224	225	339
14:30	568	217	202	209	358
15:30	416	116	166	182	326

16:30	253	114	123	133	241
17:30	102	51	62	60	124

Fonte: Pesquisa Direta

4.1.2 Características Construtivas do aviário

O aviário é construído com paredes laterais no sentido norte e sul apenas por lonas, paredes laterais sentido leste e oeste de tijolo e telhas de barro.

As dimensões do aviário são as seguintes:

- Altura de 3 m;
- Comprimento de 80 m;
- Largura 8 m.

A condutividade térmica dos materiais usados no aviário estão mostrados na tabela 6.

Tabela 6: Condutividade dos materiais da construção do empreendimento.

Material	λ (W/(m ² K))
Tijolo	1,0
Telhas de barro	0,93
Lona (Polietileno)	0,4

Fonte: (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 10)

4.2 Cálculo da carga térmica

4.2.1 Irradiação Solar

Os dados das pesquisas mostraram que a temperatura média do ambiente que comporta um aviário deve ser 24°C e com a figura 12, pode-se verificar que a temperatura média máxima da cidade de luz foi de 29°C. Então as temperaturas de 24°C e 29°C foram utilizadas como interna e externa, respectivamente, para o cálculo do ganho de calor pela irradiação solar.

Com os valores acima e as tabelas 2 e 6 pode-se tirar as propriedades de cada parede e teto para calcular a carga térmica que será inserida no recinto devido a irradiação solar. A orientação, área, transmitância térmica e absorvidade de cada superfície, junto com a transmitância térmica, são apresentados na tabela 7.

Tabela 7: Dados de orientação, área, transmitância térmica e absorvidade de cada superfície

Superfície	Orientação	Área (m ²)	U (W/(m ² *K))	α
Parede	Oeste	24	6,67	0,8
Parede	Leste	24	6,67	0,8
Lona	Sul	240	18,6	0,55

Lona	Norte	240	18,6	0,55
Teto	-	640	4	0,8

Fonte: Pesquisa direta, 2022

Assim, utilizando os valores de radiação solar (RS) incidente em cada plano da tabela 5, os valores da resistência térmica superficial externa (Rse) da tabela 1 (igual a 0,04 para todas as orientações na parede externa) e aplicando nas equações de fluxo de calor por irradiação nos planos horizontal e vertical, equações 8 e 9, respectivamente, mostradas na tabela 8, obteve-se os seguintes valores de fluxo de calor nas paredes, lonas e teto, como também, o somatório de todos eles, mostrado na tabela 9.

Tabela 8: Equações do fluxo na superfície vindo da irradiação solar

Plano	Equação
Horizontal	$\phi = U * A * (\theta e + \alpha * RS * Rse - 4 - \theta i)$
Vertical	$\phi = U * A * (\theta e + \alpha * RS * Rse - \theta i)$

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Tabela 9: Fluxo de calor nas paredes devido a irradiação solar em W

Hora	Teto	Parede Norte	Parede Sul	Parede Oeste	Parede Leste	Total
06:30	10915,84	27328,608	28408,896	1107,2	1117,44	68877,98
07:30	23285,76	33515,712	34399,584	4995,84	1429,76	97626,66
08:30	36638,72	33712,128	38622,528	1731,84	1649,92	112355,1
09:30	49090,56	43631,136	42158,016	1870,08	1834,24	138584
10:30	58757,12	47461,248	44318,592	1952	1946,88	154435,8
11:30	64081,92	49425,408	45300,672	1998,08	1998,08	162804,2
12:30	64081,92	49425,408	45300,672	2218,24	1998,08	163024,3
13:30	58757,12	47461,248	44318,592	2535,68	1946,88	155019,5
14:30	49090,56	43631,136	42158,016	2632,96	1834,24	139346,9
15:30	36638,72	33712,128	38622,528	2469,12	1649,92	113092,4
16:30	23285,76	33515,712	34399,584	2033,92	1429,76	94664,74
17:30	10915,84	27328,608	28408,896	1434,88	1117,44	69205,66

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

4.2.2 Carga Térmica devido as aves

A carga térmica gerada no ambiente devido a emissão de calor das aves pode ser calculada de acordo com a equação 12, representada abaixo:

$$Qt = 9,84Ma^{0,75} * (4 * 10^{-5} * (20 - Tbs)^3 + 1)$$

Sendo:

- Qt = Carga térmica total de uma ave.
- Ma = Massa média das aves.
- Tbs : Temperatura de Bulbo Seco.

Utilizando a temperatura de Bulbo Seco, como apresentado na figura 12, sendo de 29°C e a massa média das aves de 3kg (frango adulto), chegamos a uma carga térmica de 21,77W. Como o aviário comporta 10 mil aves, a carga térmica total gerada pelas aves nesse aviário é de 217763 W.

4.2.3 Condução

Para o cálculo da condução de calor nas paredes do aviário, foi utilizada a equação 2.

Tendo como referência os parâmetros da tabela 10, foi calculada a carga térmica de cada orientação do empreendimento, conforme apresentado na tabela 11.

Tabela 10: Espessura, condutividade e resistência dos materiais do aviário.

	Espessura (m)	Condutividade (W/(m*K))	Resistência ((K*m) / W)
Paredes	0,15	1	0,15
Lona	0,05	0,93	0,053
Telhas	0,1	0,4	0,25

Fonte: Pesquisa direta (2022)

Tabela 11: Cálculo das cargas térmicas por orientação e somatório

Qcond lona (W)	44640
Qcond parede tij (W)	1600
Qcond Teto (telha) (W)	12800
Qcond Total (W)	59040

Fonte: Pesquisa direta (2022)

4.3 Carga térmica total

A carga térmica total gerada no ambiente é a soma das cargas térmicas calculadas.

Na tabela 12 é mostrado a carga térmica da subestação em cada hora do dia.

Tabela 12: Carga térmica total do aviário

RESULTADO DA CARGA TÉRMICA (W)				
Hora	Irradiação	Aves	Qcond	Total (W)
06:30	68877,984	217762,8045	59040,00	345680,789

07:30	97626,656	217762,8045	59040,00	374429,461
08:30	112355,14	217762,8045	59040,00	389157,941
09:30	138584,03	217762,8045	59040,00	415386,837
10:30	154435,84	217762,8045	59040,00	431238,645
11:30	162804,16	217762,8045	59040,00	439606,965
12:30	163024,32	217762,8045	59040,00	439827,125
13:30	155019,52	217762,8045	59040,00	431822,325
14:30	139346,91	217762,8045	59040,00	416149,717
15:30	113092,42	217762,8045	59040,00	389895,221
16:30	94664,736	217762,8045	59040,00	371467,541
17:30	69205,664	217762,8045	59040,00	346008,469

Fonte: Pesquisa direta (2022)

A figura 19 mostra o gráfico da carga térmica total do ambiente:

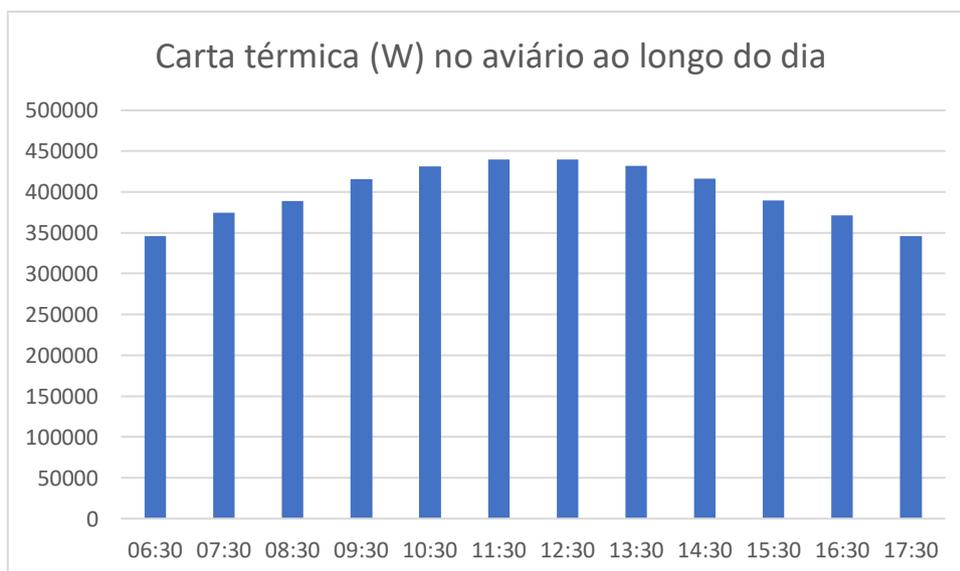


Figura 19: Gráfico da variação da carga térmica do aviário ao longo do dia

Fonte: Pesquisa direta, 2022.

Não foram levados em consideração as cargas térmicas geradas por iluminação e por pessoas no local. A iluminação foi desconsiderada devido a aves em estágio adulto não se comportarem bem com muita luminosidade, sendo assim, a luminosidade para aves no estágio observado é irrelevante para o estudo. A carga térmica devido a pessoas no local também se torna irrelevante para o estudo visto que manutenções serão feitas com a porta

aberta e em horários de menor irradiação solar, o que garantirá temperaturas confortáveis para se fazer a manutenção.

4.4 Vazão de ar

Para garantir um conforto térmico adequado para as aves, é necessário que a temperatura ambiente máxima seja 24°C. Com os cálculos da carga térmica gerada pelas aves, o ganho de calor por condução e pela irradiação solar, tem-se uma carga máxima no horário das 12:30 horas. Este valor será utilizado para calcular a vazão de ar, pois é o valor máximo no ano, já que foi utilizada a irradiação solar do dia 16 de fevereiro, o qual apresentou maiores valores do ano.

Na tabela 12 pode-se extrair uma carga térmica de 439827,125W. Com a temperatura média máxima de Luz de 29 °C, tem-se os seguintes valores de massa específica e de calor específico do ar externo.

$$\rho_e = 1,19 \text{kg/m}^3$$

$$C_p = 1000 \text{J/(kg} \cdot \text{°C)}$$

Aplicando esses valores na equação 13, que é a equação da vazão de ar, máxima, necessária para o garantir uma temperatura adequada ao ambiente, tem-se:

$$Q_e = \frac{Q_t}{\rho_e * C_p * \Delta T} = \frac{73,92 \text{m}^3}{s}$$

4.5 Seleção de placas evaporativas

Para seleção das placas evaporativas escolheu-se trabalhar com a empresa MUNTERS, a qual apresenta um catálogo completo dos diferentes tipos de placas evaporativas oferecidos pela companhia.

Para aviários, dentre as opções de placas evaporativas, a empresa oferece os Painéis de Resfriamento Evaporativo CELDEK conforme a figura 20. Os Painéis podem apresentar espessura (E) de 4,6,8,12 ou 24"; largura (A) de 12 e 24" e Altura (H) de 24, 36, 48, 60 e 72". Para o aviário em questão, definiu-se a altura de 72" e largura de 24".



Figura 20: Painéis de Resfriamento Evaporativo CELDEK
Fonte: Catálogo Munters (2022)

O gráfico de eficiência do sistema foi disponibilizado pela empresa conforme a figura 18.

Optou-se por realizar o estudo com duas velocidades, 200 Pés/min e 300 Pés/min visando uma menor perda de carga no sistema. A perda de carga é dada pelo fabricante conforme figura 21.

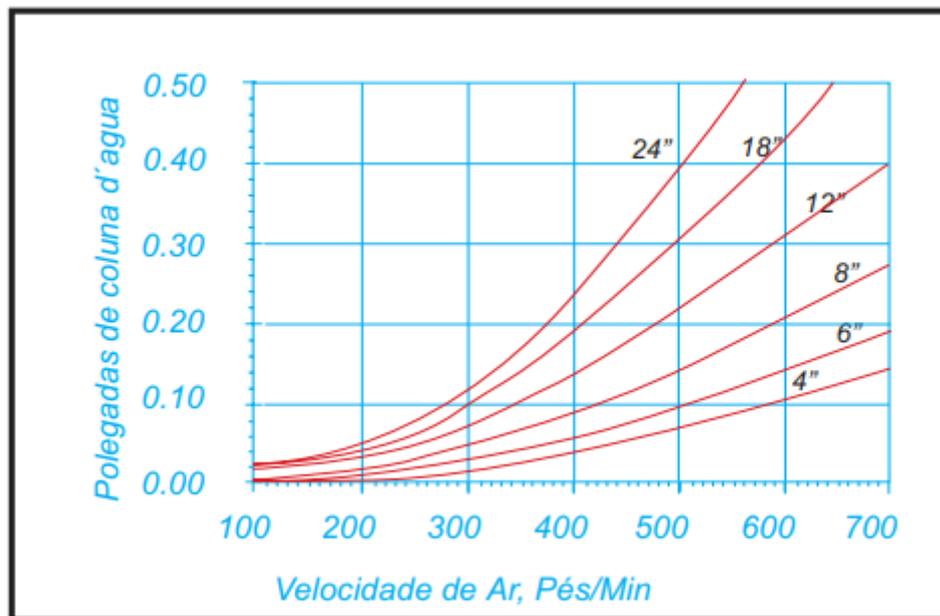


Figura 21: Perda de carga do sistema de placas evaporativas.
Fonte: Catálogo Munters, 2022

Realizou-se dois cálculos com velocidade de 200Pés/min e dois cálculos com a velocidade de 300Pés/min para definir a espessura ideal para o sistema. O primeiro cálculo com cada velocidade fazendo uma análise da espessura de 12" e o segundo com espessura de 18".

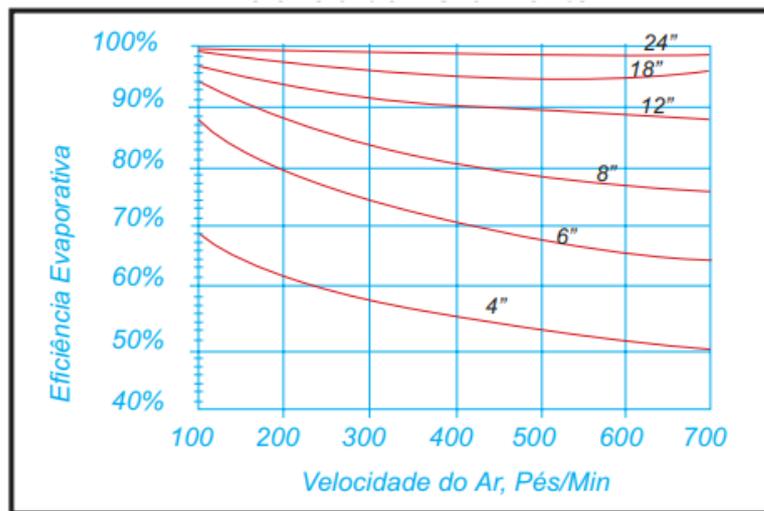


Figura 22: Gráfico de eficiência do painel de resfriamento evaporativo CELDEK.
Fonte: Catálogo Munters, 2022

A eficiência do sistema é dada pela fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\text{Temperatura de Bulbo Seco externo} - \text{Temperatura bulbo seco interno}}{(\text{Temperatura de bulbo seco externo} - \text{Temperatura de bulbo úmido})}$$

Sendo a temperatura de bulbo seco externo igual a 29°C, a temperatura de bulbo úmido pelo programa GRAPSI é de 22,9°C e a eficiência do sistema é dada pelo gráfico do fabricante.

Considerando a espessura de 12" e a velocidade de 200Pés/min, o gráfico apresenta uma eficiência de 95%. Através dos cálculos, então, alcança-se uma temperatura de 23,2°C.

Com a espessura de 18" e a velocidade de 200Pés/min, o gráfico apresenta uma eficiência de 97%. Através dos cálculos da fórmula da eficiência, encontra-se uma temperatura de 23°C.

Dessa forma, observa-se que ambas as espessuras são satisfatórias para o resfriamento do aviário, visto que a temperatura desejada no interior do ambiente é de 24°C.

Já considerando a espessura de 12" e a velocidade de 300Pés/min, o gráfico apresenta uma eficiência de 92%. Através dos cálculos, então, alcança-se uma temperatura de 23,4°C.

Com a espessura de 18" e a velocidade de 300Pés/min, o gráfico apresenta uma eficiência de 96%. Através dos cálculos da fórmula da eficiência, encontra-se uma temperatura de 23,14°C.

Dessa forma, pode-se analisar que com a velocidade de 300Pés/min, também consegue-se atingir a temperatura interna desejada com ambas as espessuras de placa.

Selecionamos a placa de espessura de 18".

Para encontrar a quantidade de placas necessárias no sistema de resfriamento planejado, utilizou-se a fórmula da vazão de ar:

$$Q_{ar} = Velocidade * \acute{A}rea$$

Sabendo que a vazão de ar necessária do sistema é de 73,92 m/s, que cada painel possui 1,108m² de área, pode ser definida a área total para cada velocidade analisada.

Para uma velocidade de 200Pes/min (1,018m/s), temos:

$$Q_{total} = Velocidade * \acute{A}rea\ total$$

$$73,92 = 1,018 * \acute{A}rea\ total$$

$$\acute{A}rea\ total = 72,61\ m^2$$

Como cada painel possui 1,108m² e a área total necessária é de 72,61 m², para uma velocidade do ar de 200Pes/min, o sistema do aviário irá necessitar de 66 Painéis de Resfriamento Evaporativo CELDEK, sendo todos de espessura 18”, altura 72” e largura 24”.

Já para uma velocidade de 300Pes/min (1,524m/s), temos:

$$Q_{total} = Velocidade * \acute{A}rea\ total$$

$$73,92 = 1,524 * \acute{A}rea\ total$$

$$\acute{A}rea\ total = 48,50\ m^2$$

Tendo em vista que os painéis são os mesmos da análise com velocidade de 200Pés/min, cada painel possui 1,108m². Para a velocidade de 300Pés/min, a área total necessária é de 48,50 m², tendo como necessidade para o resfriamento desejado do aviário um total de 44 Painéis de Resfriamento Evaporativo CELDEK, sendo todos de espessura 18”, altura 72” e largura 24”.

5 CONCLUSÃO

O setor da avicultura de corte tem evoluído, visando uma maior produtividade em um mercado cada vez mais competitivo.

Uma das melhorias mais impactantes é o controle do ambiente na qual as aves estão inseridas, através de sistemas automatizados.

Contudo, enquanto os grandes avicultores conseguem fácil acesso as informações dos sistemas de climatização, os pequenos produtores possuem maiores dificuldades de acesso a informações sobre os avanços tecnológicos.

O presente trabalho realizou um estudo teórico sobre a avicultura de corte, carga térmica e modelos de climatização de aviário de um pequeno produtor, através de um processo metodológico com os cálculos necessários.

Realizou-se o cálculo total da carga térmica do ambiente, sendo a somatória da irradiação, da condução e o calor emitido pelos animais. Como resultado final, estabeleceu-se que a carga máxima do ambiente foi às 12:30 horas, sendo um total de 439827,125 W.

Com a carga térmica do ambiente encontrada, realizou-se o cálculo da vazão de ar, onde que encontrou-se uma vazão de ar necessária para retirar o calor sensível do ambiente de 73,92 m³/s.

Para finalizar, utilizou-se o catálogo da Munters para encontrar o modelo ideal de placas evaporativas para aviários da companhia. A mesma indica o sistema de Painéis de Resfriamento Evaporativo CELDEK, que foi selecionado com medidas altura 72”, largura 24”. Após a realização de cálculos com duas velocidades baixas, evitando assim uma perda de carga elevada, definiu-se a espessura de 18”.

Posto isso, já com a placa selecionada e dimensionada, verificou-se a necessidade de 66 painéis de resfriamento evaporativo considerando uma velocidade de 200Pés/min e de 44 painéis considerando uma velocidade de 300Pés/min para que o sistema conseguisse atingir a temperatura interna desejada de 24°C.

5.2 Recomendações

A partir deste trabalho, são apresentadas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- Cálculo da quantidade de água necessária para o sistema de placas evaporativas;
- Dimensionamento das bombas d'água;
- Análise comparativa da eficiência do sistema de placas evaporativas com um sistema de nebulização;

- Análise do custo de aplicação do sistema de climatização dimensionado no presente trabalho;
- Retorno sobre o investimento da aplicação do sistema.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho térmico de edificações Parte 2 : Métodos de cálculo da transmitância térmica , da capacidade térmica , do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 1–21, 2003.

ABREU, Valéria; ABREU, Paulo. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [S. l.], p. 1-14, 14 nov. 2011.

AGROCERES. Climatização x Lucratividade. 2020. Disponível em: <https://agroceresmultimix.com.br/blog/climatizacao-x-lucratividade/>>. Acesso em 20 de nov. 2021.

ASSIS, M. C. D. E. Metodologia do Trabalho Científico. Disponível em:. Acesso em: 20 abr. 2020.

AVICULTURA INDUSTRIAL. Inovações inteligentes de aves oferecem novos insights. 2018. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/inovacoesinteligentes-de-aves-oferecem-novos-insights/20180727-090947-h492>>. Acesso em: 10 de Out. 2021.

BASSI, Nádia Solange Schmidt; SILVA, Christian Luiz. Oportunidades e Desafios em PD&I na Cadeia Produtiva De Frangos De Corte. EMBRAPA. 2018. Disponível em < <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/CIAS+-+Agropensa+-+Oportunidades+e+desafios+em+PD%26I+na+cadeia+produtiva+de+frangos+de+corte.pdf>>. Acesso em: 27 de ago. 2021.

BORGES, Sebastião; MAIORKA, Alex; SILVA, Ana. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, [s. l.], 1 out. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/6PDkwXLy5YDyQTFBZ3M3jqJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 9 set. 2021.

BORRÉ, R. Sistema de ventilação em ambiente industrial. 2013.

CARCIOFI , Bruno Augusto Mattar. ESTUDO DO RESFRIAMENTO DE CARCAÇAS DE FRANGO EM CHILLER DE IMERSÃO EM ÁGUA. 2005. Dissertação de Pós-graduação (Pós-graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2005.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Transferência de Calor e Massa. 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2011.

CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R. Ventilação Industrial. 2. ed. Florianópolis: Série Didática, 2009.

CLIMATOLOGIA - Luz - Br. [S. l.], 20--. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/3371/luz-mg>. Acesso em: 4 abr. 2022.

CONSTANTINO, Matheus Coitinho. CONTROLE TÉRMICO DE GRANJA. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2018.

CREDER, H. Instalação de ar condicionado. p. 316, 2004.

CURTIS, S.E. Environmental management in animal agriculture. Ames: Iowa State University Press, 1983. 650p

DENSIDADE DE AVES & INFLUÊNCIA SOBRE A TEMPERATURA. [S. l.], 21 jan. 2018. Disponível em: <https://avicultura.info/pt-br/densidade-aves-influencia-temperatura/>. Acesso em: 15 out. 2021.

EFEITO DA TEMPERATURA AMBIENTE SOBRE O DESEMPENHO E CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA DE FRANGOS DE CORTE DOS 22 AOS 42 DIAS. 2001. Dissertação de Pós-graduação (Pós-graduação em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, [S. l.], 2001.

FOGIATTO, M. A. Avaliação da transmitância térmica de blocos de concreto e cerâmica utilizados na construção civil. 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de Conforto Térmico. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIROTTI, A. F., MIELI, M. Situação atual e tendências para a avicultura de corte nos próximos anos. EMBRAPA, 2004. Disponível em: . Acesso em: 28 de abr. 2022.

GOMES, Emmily Gérsia Santos; MELO, Aluísio Bras de. Caracterização do fluxo de calor em alvenaria de bloco EVA. Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v.9, n. 4, p 290-304, dez 2018.

INCROPERA, F. P. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008

IRRADIAÇÃO solar em Luz. [S. l.], 20--. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 3 maio 2022.

LOPES, Jackelline; RIBEIRO, Mabell; LIMA, Vânia. Estresse por calor em frangos de corte. **Nutri Time Revista Eletrônica**, [S. l.], p. 4478-4487, 6 nov. 2015. Disponível em: https://mediacdns3.ulife.com.br/PAT/Upload/2067871/Estresseporcaloremfrangos_20200323000813.pdf. Acesso em: 14 set. 2021.

MACINTYRE, A. J. Ventilação Industrial e Controle da Poluição. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MEDEIROS, Luís; VIEIRA, Debora. **BIOCLIMATOLOGIA ANIMAL**. [S. l.: s. n.], 1997. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/bioclimatologiaanimal/files/2011/03/Apostila-de-Bioclimatologia-Animal.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MIRAGLIOTTA, M.Y. Avaliação das condições do ambiente interno em dois galpões de produção comercial de frangos de corte, com ventilação e densidade populacional diferenciados. 2005. 244f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas

NASCIMENTO, S.; SILVA, I. As perdas de calor nas aves: entendendo as trocas de calor com o meio. *Revista Avisite*. 2008. Disponível em . Acesso em: 11 de out 2021.

NASCIMENTO, Sheila Tavares. **MODELAGEM DO EQUILÍBRIO TÉRMICO DE FRANGOS DE CORTE: UM ESTUDO DA GERAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CALOR**. 2015. Tese de Doutorado (Doutorado em Zootecnia) - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP, [S. l.], 2015

NÓBREGA, Simão; COELHO, Pedro J. Um estudo paramétrico da terapia térmica do tecido cutâneo. *Journal of Termal Biology*, [S. l.], p. 92-103, 1jan. 2017.

SACHT, H.M et al. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida. Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida, [s. l.], 16 out. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 7 out. 2021.

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, Ilda de Fatima Ferreira et al. A granja de frangos de corte. Produção de frangos de corte. Campinas: FACTA, p. 55-84, 2004.

TINÔCO, I. de FF. Avicultura Industrial&58; Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. Revista brasileira de ciência Avícola, v. 3, n. 1, p. 01-26, 2001

TINOCO, TFF. Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros. **Brazilian Journal of Poultry Science**, [s. l.], 2 out. 2002.

VASCONCELOS, Marta Chaves; BASSI, Nádia Solange Schmidt; SILVA, Christian Luiz. Caracterização das Tecnologias e Inovação na Cadeia Produtiva do Frango de Corte no Brasil. Embrapa Suínos e Aves. VII Seminário de Pesquisa Interdisciplinar. 2016. Disponível em <http://www.unisul.br/wps/wcm/connect/45e0b90c-2f0a-450c-a1c7-883eb45ba2ac/artigo_gtadm_marta-nadia-christian_vii-spi.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 31 de ago. 2021.

ZEN, Sergio et al. Evolução da Avicultura no Brasil. Informativo CEPEA. São Paulo. Edição 1-4^a Trimestre. 2014. Disponível em <<https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/revista/pdf/0969140001468869743.pdf>> Acesso em: 27 de out. 2021.