UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DANIEL GURGEL PINHEIRO

MOLHAMENTO DA CARGA COMO MÉTODO DE ATENUAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO DURANTE O TRANSPORTE DE FRANGOS VIVOS

FORTALEZA - CEARÁ

2015

MOLHAMENTO DA CARGA COMO MÉTODO DE ATENUAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO DURANTE O TRANSPORTE DE FRANGOS VIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ambiência Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho

FORTALEZA 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

P718m Pinheiro, Daniel Gurgel.
Molhamento da carga como método de atenuação do estresse térmico durante o transporte de frangos vivos / Daniel Gurgel Pinheiro. – 2015.
107 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.
Orientação: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho.

1. Aves de corte. 2. Ave - Criação. 3. Engenharia agrícola. I. Título.

CDD 630

DANIEL GURGEL PINHEIRO

MOLHAMENTO DA CARGA COMO MÉTODO DE ATENUAÇÃO DO ESTRESSE TÉRMICO DURANTE O TRANSPORTE DE FRANGOS VIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ambiência Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em 13 de março de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Geraldo Luis Bezerra Ramalho (Conselheiro)
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Prof. Dra. Carla Renata Figueiredo Gadelha (Conselheira)
Universidade Federal do Ceará - UFC

À Maria Pinheiro Gurgel (*In memorian*)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção durante minha jornada nesta vida.

Aos meus maiores tesouros, Doris e João Pedro, tudo que faço é por vocês.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, pela confiança e incentivo na realização desta pesquisa.

Aos Sr.. Everardo Vasconcelos e Nícolas Vasconcelos, pela visão empreendedora e espírito científico (...) vocês foram essenciais na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho, pelos ensinamentos, orientação, confiança, amizade e conhecimentos adquiridos durante esta jornada.

Aos Profs. Drs. Leonardo Almeida, Carlos Chioderolli e Daniel Albieiro, pelos ensi- namentos e amizade.

Aos amigos Profs. Agamenon José (IFCE Campus Fortaleza), Nildo Dias (IFCE Cam- pus Fortaleza), Flávio Gonçalves (IFCE Campus Fortaleza), Heldenir Pinheiro (IFCE Campus Fortaleza), George Cajazeiras (IFCE Campus Fortaleza) e Mauro Albuquerque (IFCE Campus Fortaleza), pelo apoio e confiança.

Ao amigo Prof. Marcos Lemos (IFCE Campus Fortaleza), pela grande ajuda durante todo o mestrado.

Ao Prof. João Medeiros Tavares (IFCE Campus Fortaleza), pelo apoio incondicional durante a parte experimental desta pesquisa.

Aos membros do NEAMBE em especial: Marília, Luan, Vinícius, Saulo, pela ajuda e dedicação durante a parte experimental.

Ao meu grande amigo, Prof. Dr. Geraldo Luis Bezerra Ramalho (IFCE Campus Maracanaú), pela enorme ajuda durante a fase de escrita e de defesa, e paciência em elucidar minha dúvidas de formatação do LaTeX.

RESUMO

PINHEIRO, Daniel Gurgel. Universidade Federal do Ceará, março 2015. **Molhamento da carga como método de atenuação do estresse térmico durante o transporte de frangos vivos**. Orientador: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho, Conselheiros: Prof. Dr. Geraldo Luis Bezerra Ramalho, Profa. Dra. Carla Renata Figueiredo Gadelha.

O molhamento da carga é uma prática muito utilizada na avicultura de corte, durante as operações pré-abate de carregamento e transporte. Segundo a maioria dos produtores, a prática do molhamento é uma forma de amenizar o estresse das aves e minimizar as perdas produtivas. Vários trabalhos desenvolvidos na área de ambiência focaram suas atenções nas operações pré-abate de jejum, captura, carregamento, transporte e espera. O molhamento, porém, é apenas citado como uma prática muito difundida, não constando, no entanto, nenhuma análise que comprove o seu benefício. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do molhamento da carga na redução do estresse térmico. Para isso, foram medidas a temperatura e a umidade relativa, com o auxílio de miniestações meteorológicas (Data Logger), e calculado o Índice Entalpia de Conforto (IEC), para a caracterização dos ambientes onde ocorreram as operações pré-abate. Para a caracterização bioclimática (microclima) da carga, foi realizada a análise da distribuição da temperatura das caixas localizadas nas partes externas (lateral direita, esquerda, topo e traseira) através da termografia (termovisores). As caixas localizadas no centro da carga, onde não foi possível o usar o termovisor, foram utilizados dezoito Data Loggers, dis- tribuídos em caixas estratégicas para o registro, a cada minuto, da temperatura e umidade relativa, para posterior cálculo do IEC. Procedeu-se, ainda, com a ajuda de técnicas de geoestatística (mapas de Krigagem), a determinação espacial da temperatura, umidade relativa e IEC durante as observações com e sem o molhamento da carga. Também se ten- tou determinar a sensação térmica durante a viagem dos frangos localizados nas laterais direita, esquerda e topo da carga, com a ajuda de três termoanemômetros para registro, a cada minuto, da temperatura e velocidade do vento e, para o cálculo da real sensação de conforto, foi utilizada a equação da temperatura equivalente de Wind Chill. A abor- dagem deste trabalho dá ênfase ao uso do IEC e das tabelas de Entalpia, além do uso do teste de hipóteses t para verificar a afirmação de que não haveria diferença entre as médias do IEC da carga molhada e da carga seca, na região que apresenta a pior situação de dissipação do calor (fileira central) durante o transporte. Os resultados mostraram que o molhamento da carga não se mostrou eficiente em amenizar o estresse térmico durante o transporte. Pode-se ainda constatar que o uso da termografia como ferramenta de di- agnóstico térmico, assim como estudos para a modelagem de uma equação que retrate a sensação térmica da ave em função da temperatura e velocidade do vento, é de suma importância para o projeto de veículos de transporte de carga viva.

Palavras - chave: Avicultura. Molhamento. Pré-abate.

ABSTRACT

PINHEIRO, Daniel Gurgel. Universidade Federal do Ceará, março 2015. **Load wetting as attenuation method of heat stress during transport of live chickens**. Orientador: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho, Conselheiros: Prof. Dr. Geraldo Luis Bezerra Ramalho, Profa. Dra. Carla Renata Figueiredo Gadelha.

The load wetting is a widely practice used in poultry production during the pre-slaughter loading and carrying operations. According to most producers, the practice of wetting is a way to release the stress of the chickens and minimize production losses. Several stu- dies developed in the ambience of the area have focused their attention on pre-slaughter fasting operations, capture, loading, transportation and waiting. The wetting, however, is only mentioned as a widespread practice and it was not found, however, any analysis that proves its benefit. Thus, the aim of this study was to evaluate the efficiency of cargo wetting to reduce thermal stress. For this aim, they were measured the temperature and the relative humidity, with the help of meteorological mini-stations (Data Logger), and it was calculated the enthalpy of Comfort Index (IEC), to characterize the environments where there were pre-slaughter operations. For the bioclimatic characterization (micro- climate) of the load, it was carried out the analysis of the temperature distribution of the boxes located in the outer parts (right, left, top and back) by thermography (thermal ima- gers). Concerning the boxes located in the center of the load, where it was not possible to use the Imager, they were used eighteen data loggers, thus distributed in strategic bo- xes, as a record, at every minute, of the temperature and relative humidity for subsequent calculation of the IEC. It as also performed, with the help of geostatistical techniques (kriging maps), the spatial determination of temperature, relative humidity and IEC du- ring observations with and without load wetting. There was also an attempt to determine the thermal sensation of the load during the trip of the chickens located on the right side, on the left side and on the top of the load, with the help of three thermoanemometers to record, at every minute, the temperature and wind speed and, to calculate the real comfort sensation, we used the equation of equivalent temperature Wind Chill. The approach of this work emphasizes the use of IEC and enthalpy tables, and the use of the t hypothesis testing to verify the claim that there would be no difference between the means of the IEC load of wet and dry cargo in the region with the worst heat dissipation situation (central row) during transport. The results have shown that the load wetting was not effective in alleviating the thermal stress during transportation. It can also be perceived that the use of thermography as a thermal diagnostic tool, as well as studies for modeling an equation that might represent the wind chill of the chickens, depending on the temperature and wind speed, is of great importance for the design of vehicles to transport live load.

Keywords: Poultry. Wetting. Pre-slaughter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Operações pré-abate 20

Figura 2 Camada-limite de velocidade 36

Figura 3 Camada limite-Térmica 36

Figura 4 Camada-limite de concentração.....37

Figura 5 Radiação térmica e superfície.....41

Figura 6 Exemplo de termograma.....44

Figura 7 Fluxograma geoestatística 50

Figura 8 Exemplo de mapa de Krigagem.....51

Figura 9 Caminhão de transporte.....52

Figura 10 Caixa transporte de frango vivo.....53

Figura 11 Termovisor FLIR™i5 55

Figura 12 Logger Onset™HOBO Pro v2 55

Figura 13 Termoanemômetro MDA-20 56

Figura 14 Localização Logger fileira central.....59

Figura 15 Fluxograma do tipo de análises 61

Figura 16 Diretrizes teste de hipóteses 62

Figura 17 Instalação termoanemômetro.....63

Figura 18 *Boxplot* temperatura molhamento.....67

Figura 19 *Boxplot* umidade relativa molhamento 68

Figura 20 *Boxplot* IEC molhamento 69

Figura 21 Lateral direita antes do molhamento. 70

Figura 22 Lateral esquerda antes do molhamento. 70

Figura 23 Lateral esquerda durante o molhamento.....71

Figura 24 Lateral esquerda logo após o molhamento. 71

Figura 25 Foto panorâmica da carga 10 minutos após o molhamento. 72

Figura 26 Lateral esquerda 10 minutos após o molhamento.....72

Figura 27 Geoestatística temperatura - carga molhada 74
Figura 28 Geoestatística 3D: temperatura - carga molhada 75
Figura 29 Geoestaística umidade relativa - carga molhada.....76
Figura 30 Geoestaística 3D: umidade relativa - carga molhada.....76
Figura 31 Geoestaística IEC da carga molhada 77
Figura 32 Geoestaística 3D: IEC carga molhada 77
Figura 33 *Boxplot* temperatura sem o molhamento 80
Figura 34 *Boxplot* umidade relativa sem molhamento.....81
Figura 35 *Boxplot* IEC sem molhamento.....82
Figura 36 Termograma no início do carregamento sem o molhamento.....83
Figura 37 Lateral direita sem a realização do molhamento. 84
Figura 38 Lateral esquerda sem a realização do molhamento. 84
Figura 39 Geoestaística temperatura sem molhamento 85
Figura 40 Geoestaística 3D: temperatura carga seca 86
Figura 41 Geoestaística umidade sem o molhamento.....86
Figura 42 Geoestaística 3D: umidade relativa - sem o molhamento.....87
Figura 43 Geoestaística IEC relativa sem molhamento 88
Figura 44 Geoestaística 3D: IEC sem molhamento 88
Figura 45 *Boxplot* temperatura fileira central 90
Figura 46 *Boxplot* umidade relativa fileira central.....91
Figura 47 *Boxplot* IEC fileira central.....92
Figura 48 Normalidade IEC.....94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Condutividade Térmica de alguns materiais a 298 K (25 °C) 33

Tabela 2 Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecçã0.....35

Tabela 3 Exemplo de emissividade de alguns materiais a 300K 40

Tabela 4 Intervalos e classificação IEC.....47

Tabela 5 Tempo e consumo de água durante as operações de captura, carregamento, transporte e descarregamento. 58

Tabela 6 Caracterização ambiental - molhamento 65

Tabela 7 Caracterização IEC molhamento 68

Tabela 8 Dados geoestatística molhamneto 73

Tabela 9 Caracterização ambiental - molhamento 79

Tabela 10 Caracterização IEC sem molhamento.....81

Tabela 11 Dados geoestatística sem molhamneto 85

Tabela 12 Dados: velocidade e temperatura do vento com e sem o molhamento da carga 96

Tabela 13 Caracterização da sensação térmica.....97

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Objetivo geral 15
1.2 Objetivos específicos 16

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 Ambiência na produção de frangos de corte 17
2.2 Operações pré-abate na produção de frangos de corte 19
2.2.1 Jejum pré-abate 20
2.2.2 Pega ou captura 21
2.2.3 Carregamento 23
2.2.4 Molhamento 24
2.2.5 Transporte 25
2.3 Termorregulação e princípios de transferência de calor 29
2.3.1 Transferência de calor 30
2.3.2 Transferência de calor por condução 31
2.3.3 Transferência de calor por convecção 34
2.3.4 Transferência de calor por radiação 39
2.4 Termografia 41
2.5 Cálculo do Índice de conforto térmico 45
2.6 Sensação térmica 47
2.7 Geoestatística 48

3 MATERIAL E MÉTODOS 52
3.1 Variáveis respostas 53
3.2 Equipamentos Utilizados 54
3.3 Descrição das atividades de captura, carregamento e molhamento 56
3.4 Monitoramento do estresse térmico 59
3.5 Monitoramento da sensação térmica 63

4 RESULTADO E DISCUSSÃO 65

4.1 Caracterização Ambiental com molhamento 65
4.1.1 Análise termográfica com molhamento..... 70
4.1.2 Análise geoestatística com molhamento 72
4.2 Caracterização Ambiental sem o molhamento..... 78
4.2.1 Análise termográfica sem o molhamento 82
4.2.2 Análise geoestatística sem o molhamento..... 84
4.3 Teste de significância da fileira central 89
4.3.1 Análise gráfica da temperatura, umidade relativa e IEC 89
4.3.2 Análise estatística pelo teste de hipóteses..... 93
4.4 Sensação térmica durante o Transporte..... 96

5 CONCLUSÕES.....99

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....100

REFERÊNCIAS.....102

ANEXO.....108

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tornou-se o maior exportador de carne de frango do mundo, fator que consolida a atividade avícola como uma das mais importantes da agroindústria brasileira. Porém, a manutenção dessa posição no mercado mundial de produção de carne de frango tem exigido grande esforço do setor produtivo.

Quando se pensa em expansão do setor de frango de corte, a fim de atender ao mercado consumidor exigente, há a preocupação de manter a alta produtividade e melhorar cada vez mais a qualidade do produto final. Para tanto, um fator essencial é a dedicação ao estudo de novas técnicas de manejo da atividade.

Grande parte das pesquisas na área de ambiência e bem-estar animal foi desenvolvida sob a ótica das condições climáticas de criadores do sul e sudeste brasileiro, cujas condições diferem, em muito, do nordeste, região que vem se destacando como grande mercado consumidor interno de carne de frango. Essa realidade, portanto, justifica e pede o investimento em pesquisas específicas para nordeste brasileiro, pois é uma região caracterizada por temperaturas elevadas durante todo ano, alta variação de umidade relativa, alta taxa de radiação solar, chuvas irregulares e estiagem prolongada.

Logo, é necessário considerar os fatores que contribuem para o aumento da produtividade avícola na região. Dentre eles está o manejo, em especial as etapas que antecedem o abate ou operações pré-abate, que, aliado ao controle das variáveis climáticas, visam propiciar ambientes que atendam às necessidades de conforto das aves e contribuam para a redução das perdas durante todo o processo produtivo.

O transporte das aves até o abatedouro se destaca como uma das operações pré-abate que mais causa prejuízos, pois as aves são submetidas a fatores desgastantes, como o estresse térmico, elevando as taxas de mortalidade. O estresse térmico é causado, principalmente, pelas características ambientais da região e pelo microclima gerado nas caixas de transporte da carga, onde não há elementos que contribuam para a dissipação do calor, em virtude do elevado número de aves acondicionas por caixa. Além disso, vale ressaltar que os caminhões utilizados no processo não foram projetados para o transporte de carga viva, ou seja, em nada contribuem para a diminuição do desgaste das aves e, inevitavelmente, geram muitas perdas.

Com o intuito de diminuir a taxa de mortalidade, os produtores optam por utilizar uma prática muito difundida no setor, que é o molhamento da carga, atividade realizada de forma empírica e cuja eficieˆncia na redução do estresse térmico não é comprovada.

Imagina-se que o molhamento contribua para a criação de um microclima próximo da condição de conforto das aves durante o transporte. Porém, há vários questionamentos relevantes quanto à aplicação do método e aos resultados obtidos, essencialmente no que se refere aos efeitos causados nas aves devido à irregularidade da distribuição de água na carga, ao molhamento das penas e a dissipação do calor metabólico dos animais, além do excesso de umidade criado nas caixas.

Embora a avicultura de corte já venha investindo em tecnologias na busca de informações rápidas e precisas, ainda são necessários estudos voltados à identificação dos pontos críticos do processo e à busca de soluções para os problemas, a fim de indicar aos produtores a adoção de melhores métodos para a realização de um manejo mais eficiente.

O uso da tecnologia infravermelha vem se destacando como ferramenta que não exige o contato direto com o animal, fornecendo imagens de distribuição de temperaturas, através das quais é possível diagnosticar rapidamente situações de estresse causado por perturbações ambientais.

Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo principal de avaliar o efeito da operação de molhamento da carga de frango vivo, na busca da redução do estresse térmico durante o transporte até o abatedouro, fazendo uso dos recursos da tecnologia infravermelha e a análise estatística.

1.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto da prática do molhamento da carga como meio de amenizar o estresse térmico durante a operação de transporte de frangos vivos.

1.2 Objetivos específicos

Foram também objetivos específicos desta pesquisa:

- Caracterizar as condições bioclimáticas das operações de pré-abate (galpão de criação, carregamento, descarregamento e ambiente externo ao descarregamento);

- Verificar se a tecnologia infravermelha pode ser utilizada para a caracterização da distribuição de temperatura da carga durante a operação de molhamento e trans- porte;

- Avaliar a sensação térmica durante a operação de transporte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ambiência na produção de frangos de corte

Segundo dados da UBABEF (2014), há uma forte tendência no aumento do consumo de carne de frango, em especial o consumo interno *per capto*, o que implica no aumento da área instalada de galpões e, consequentemente, no aumento da densidade de frangos por metro quadro nos galpões. No entanto, esta situação pode ocasionar perdas de produtividade em decorrência do manejo inadequado ou condições ambientais inadequadas.

O confinamento de frangos de corte, mesmo planejado, conterá elementos que poderão causar algum tipo de ameaça ao equilíbrio do organismo do animal. Dentre os principais elementos, estão as variáveis ambientais como temperatura e umidade relativa (BARBOSA FILHO, 2008).

Os efeitos danosos do binômio temperatura e umidade relativa no desempenho produtivo de frangos de corte são bem documentados, em especial no verão, em que a alta da umidade relativa **é** acompanhada por temperaturas elevadas (LIN et al., 2005).

As estações do ano são variáveis importantes para a determinação dos níveis mínimos de controle ambiental e minimização do efeito do estresse no animal, isto é, as variáveis ambientais devem ser correlacionadas com os efeitos climáticos decorrentes das estações do ano, para a busca do conforto do animal. Para o melhor desempenho produtivo na criação de frangos de cortes, deve-se buscar harmonia entre o ambiente e as necessidades do animal (FURLAN, 2006).

Ainda segundo Furlan (2006), o ambiente é definido ecomo a soma dos impactos circundantes físicos e biológicos, e seus principais efeitos estressores podem estar vinculados a: velocidade e temperatura do ar, temperatura radiante, disponibilidade de água, umidade da cama.

Para a produção de frangos de corte, a proteção do animal contra os “excessos” das variáveis ambientais é essencial, pois o aumento da produtividade é diretamente proporcional ao conforto do animal, o que torna o estudo da ambiência essencial para o sucesso da atividade de criação de frangos.

Macari, Furlan e Silva (2001) demonstram que as variáveis ambientais podem ter efeitos positivos e negativos sobre a produção de aves, como a redução de consumo de alimento, prejudicando o ganho de peso no caso de temperaturas elevadas. Já em baixas temperaturas, citam o problema do rápido ganho de peso à custa da elevada conversão alimentar.

O calor é considerado um tipo particular de estressor na avicultura de corte, responsável pela diminuição do crescimento, da conversão alimentar e de desajustes fisiológicos, aumentando os processos inflamatórios, que resultariam em diminuição da absorção de nutrientes e, como consequência, diminuição de ganho de peso (QUINTEIRO-FILHO et al., 2012). O mesmo autor sugere que o estresse térmico causado pelo calor é responsável pela diminuição dos índices zootécnicos e da imunidade inata dos frangos de corte.

Altas temperaturas associadas com grandes variações de umidade relativa do ar e deficiência na circulação de ar podem causar perdas significativas durante o ciclo de produção (BARBOSA FILHO et al., 2007).

A água desempenha um papel importante na dissipação do calor metabólico das aves quando expostas a temperaturas elevadas, sendo impressindível os cuidados com a qualidade e temperatura da água servida (MACARI; FURLAN; GONZALES, 1994). O aumento do consumo hídrico das aves associado às temperaturas elevadas aumenta a umidade relativa do ambiente devido ao excesso de excretas, que prejudicam a qualidade da cama. (BARBOSA FILHO, 2008). Como consequência do aumento da umidade da cama, há o aumento da temperatura proporcionando uma maior atividade microbiológica e como consequência a formação de amônia, que prejudica a qualidade do ar no ambiente (MACARI; FURLAN; SILVA, 2001).

Segundo Oliveira et al. (2006), a capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional a quantidade de umidade do ar (umidade relativa). Quanto maior a umidade relativa do ar, ou seja, quanto mais próximo o ar estiver da saturação, mais dificuldade a ave tem de regular o calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória.

O controle das variáveis ambientais só é possível através da mensuração do desvio da normalidade, ou seja, quando o erro puder ser mensurado, que no caso da ambiência animal, mensurar o impacto da anormalidade do ambiente no organismo do animal.

No caso específico da ambiência, busca-se informações sobre a qualidade do ar, conforto térmico, acústico e dados sobre luminosidade. Porém, ainda existe uma grande lacuna no que se refere à continuidade do processo além das unidades produtoras (VIEIRA et al., 2009).

A redução de mortalidade de animais e a garantia do bem-estar animal até a fase final do ciclo produtivo é um assunto que necessita de novos estudos, e deverá, em futuro próximo, definir toda a logística da agroindústria de frangos de corte (SILVA; VIEIRA, 2010).

No caso do semiárido nordestino, as variáveis ambientais que se destacam são a temperatura, radiação solar e a umidade relativa, que quando fogem do controle, geram prejuízos aos produtores. Assim, o grande desafio para a criação de frangos de corte no semiárido é o levantamento de informações na área de ambiência em relação ao manejo durante o confinamento e pré-abate, pois grande parte das pesquisas na área de ambiência foram desenvolvidas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, que possuem condições climáticas mais brandas, se comparadas ao nordeste semiárido.

2.2 Operações pré-abate na produção de frangos de corte

As aves são expostas a diversos fatores causadores de estresse antes do abate, esses fatores não geram somente problemas de bem-estar às aves. O setor avícola sofre devido às perdas produtivas causadas por injúrias pela falta de técnica adequada durante o manejo e mau uso das tecnologias existentes (BARBOSA FILHO, 2008; VIEIRA, 2008). As operações pré-abate causam muitos prejuízos para as indústrias avícolas.

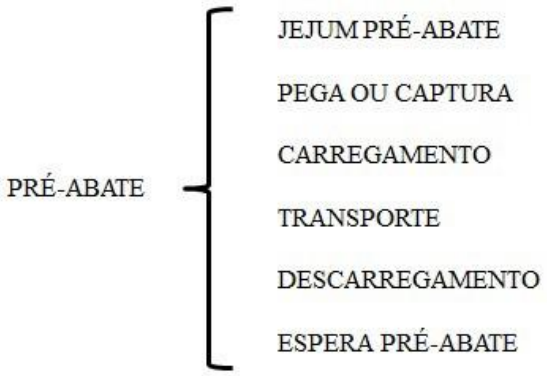
Entretanto, há pouca preocupação com o processo, em virtude da dinâmica de produção, não sendo tomadas as medidas preventivas (RUI; ANGRIMANI; DA SILVA, 2011).

Por meio de ferramentas computacionais e métodos de engenharia, em função da região do país e das condições climáticas, é possível reduzir os índices de perdas localizadas nas operações pré-abate com tomadas de decisão mais eficientes (SILVA; VIEIRA, 2010).

Segundo Nazareno et al. (2013), outro termo utilizado na cadeia avícola é o pós-porteira, onde se inserem o manejo pré-abate, abate e industrialização do produto final. Assim, o estudo detalhado de todas as operações que antecedem o abate são de fundamental importância para a redução de perdas durante o ciclo produtivo de aves de corte.

A Figura 1 apresenta as principais operações envolvidas no pré-abate de frangos de corte, também conhecidas como operações pós-porteira.

Figura 1 – Principais operações pré-abate



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.1 Jejum pré-abate

O jejum alimentar é o início das operações pré-abate e consiste em privar a ave de comida antes do início da captura ou pega até o momento do abate, e sua principal função é reduzir a contaminação da carcaça, devido ao esvaziamento do sistema digestivo. O tempo de jejum se estende a pega ou captura das aves, carregamento, transporte, descarregamento e espera pré-abate (NORTHCUTT, 2010; TURKYILMAZ et al., 2006). Segundo Schettino et al. (2006), o período de jejum de ração é o mais importante, pois pode evitar contaminações em toda planta de processamento e prejuízos nos rendimentos das carcaças, caso seja feito de maneira correta.

Para minimizar a contaminação na operação de abate é importante que tanto o papo como o intestino do frango estejam vazios no momento da captura. Entretanto, a retirada de ração antes da operação de captura e carregamento do caminhão é incorreto, pois o frango aumenta seu consumo hídrico e estimula a ingestão da cama, ocasionando o aumento da umidade relativa e problemas de ambiência e bem-estar para o animal (MENDES, 2001).

Deve-se evitar o jejum hídrico, pois a água ajuda na limpeza do trato intestinal. Também deve-se salientar que a água contribui para a manutenção da temperatura interna da ave.

O tempo de jejum é uma questão amplamente estudada e controversa, pois o tempo exagerado de jejum pode prejudicar o metabolismo da ave e ocasionar perda de peso bem como provocar um aumento no consumo de água e ingestão de cama; isso resulta em um aumento da umidade das fezes, que ocasionará o aumento de umidade relativa do ambiente e aumento do estresse térmico (BARBOSA FILHO, 2008; NORTHCUTT, 2010; TURKYILMAZ et al., 2006; MENDES, 2001) .

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento preconiza um tempo mínimo de seis horas e um máximo de oito horas de suspensão da ração para as aves que serão abatidas (MAPA, 1998). Trabalhos como Wabeck (1972), Duke, Basha e Noll (1997), Turkyilmaz et al. (2006) apontam para um tempo de jejum de 8 a 10 horas.

A alimentação não deve ser suspensa por mais de 12 horas antes do abate. Nas situações em que o período de 12 horas for excedido, deve haver procedimentos que garantam o bem-estar das aves (UBA, 2008).

Como se pode observar, o tempo de jejum pré-abate pode ser influenciado pela logística envolvida nas operações pré-abate, sendo essencial o planejamento dos demais processos para evitar perdas desnecessárias (TURKYILMAZ et al., 2006).

2.2.2 Pega ou captura

A produção de frangos está presente em todas as regiões do país, impactando a economia da maioria dos estados. Cerca de 90% das aves abatidas são produzidas no sistema de integração vertical, em que a empresa detém o controle de todos os elos da cadeia, ou seja, produção, abate, processamento e distribuição (UBA, 2008).

A captura antecede ao carregamento, pois os frangos ao atingirem o peso de abate, devem ser selecionados e acondicionados em caixas próprias para o transporte. A captura consiste em literalmente pegar a ave, colocá-la em uma caixa e conduzi-la ao caminhão de transporte (BARBOSA FILHO, 2008).

Existem dois tipos de captura: a mecânica ou automatizada e a manual. A pega mecânica ou automatizada exige um número mínimo de trabalhadores; porém, exige altos investimentos para modificações no galpão e caminhão, o que o torna pouco atrativo para o produtor brasileiro, em especial para o produtor nordestino, que opta pela pega manual (CONY, 2000).

Segundo Barbosa Filho (2008), a operação de captura manual pode parecer fácil, no entanto, apresenta grande dificultade em virtude da dinâmica que exige um ritmo frenético, ou seja, rapidez e grande esforço físico por parte dos trabalhadores envolvidos. Segundo Mitchell e Kettlewell (2003), a captura, além de fisicamente cansativa, devido às exigências de produtividade, é desagradável devido às condições dentro do aviário, pois os trabalhadores realizam as atividades próximos à cama que, devido à movimentação, aumentam o nível de poeira e amônia no ambiente. Por esses motivos, é um trabalho de pouca motivação.

Segundo Castillo e Ruiz (2010), a captura é a operação pré-abate que mais gera estresse e injúrias físicas às aves, consequentemente acarretando maior prejuízo ao produtor por danos à carcaça. As perdas causadas por falta de manejo adequado na operação de captura são significativas, e estão relacionadas com danos às partes mais nobres da carcaça como coxa, sobre-coxa, asas e peito (LUDTKE, 2010).

O método mais tradicional de captura é realizado pelas pernas, embora seja o que mais causa traumas principalmente deslocamento da articulação fêmur-tíbia. A pega pelas asas também eleva os índices de fraturas locais. O método de pega pelo pescoço tem sido contra-indicado em função do aumento de lesões de pele e elevação do estresse para as aves (FIGUEIREDO et al., 2007).

Pesquisas apontam o método japonês como o menos estressante para as aves, pois a captura é feita de forma individual, uma ave por vez, e o trabalhador usa as duas mãos para apoiar o dorso da ave e, assim, distribuir melhor seu peso. Com isso diminuindo o número de contusões da carcaça (BARBOSA FILHO, 2008; KANNAN et al., 1997; LEANDRO et al., 2006).

A UBA (2008) faz as seguintes recomendações sobre a captura de frangos de corte:

-É proibida a captura das aves pelos pés, asas e pescoço devido às lesões e sofrimentos que possam causar.

- Aves com menos de 1,8kg podem, excepcionalmente, ser apanhadas pelas pernas, desde que o número máximo em cada mão não seja maior que três.

- Somente é permitido a captura pelo dorso de no máximo duas aves por vez.

- Maus tratos e brutalidade no manejo com as aves durante a apanha não devem ser tolerados.

- A equipe de apanha deve passar por treinamentos constantes.

2.2.3 Carregamento

A etapa de carregamento é tão importante quanto as demais operações pré-abate, e possuem pontos críticos que devem ser estudados, pois as aves são colocadas em caixas em que devem ser observados vários aspectos, como: o estado de conservação, padronização e higienização; o número de aves por caixa; a forma de fechamento das caixas pelos trabalhadores da equipe de pega e o impacto provocado pela equipe de carregamento durante a arrumação das caixas no caminhão (BARBOSA FILHO, 2008).

Segundo Olivo (2006), a operação de carregamento é complexa e uma fonte potencial de perdas por mortes, cabeças prensadas, lesões de asas e carcaça, exigindo cuidados constantes.

Assim como na operação de captura, é exigido grande esforço físico dos trabalhadores e várias doenças ocupacionais podem surgir devido ao levantamento repetitivo de peso, que força o sistema ósteo muscular das costas. O trabalhador deve ser encarado como prioridade, pois sua saúde física e mental repercute diretamente sobre o bem-estar das aves (VIEIRA et al., 2009).

Há dois tipos de caixas no mercado, com portinholas corrediças e basculantes. As caixas com portinholas basculantes possuem duas partes que se abrem para o exterior, para que as aves possam ser colocadas nas caixas. Com esse mecanismo há menor risco de ocorrerem traumas, evitando decepamentos e morte por pescoço prensado no momento de fechar as caixas. Essas injúrias são maiores na portinhola do tipo corrediça. No caminhão, as caixas devem estar bem presas, evitando que se movimentem e que se soltem (OLIVO, 2006).

Com relação ao manejo durante o carregamento, Ludtke (2010) recomenda:

- A densidade de aves por caixa se basea no princípio de que todas as aves devem ter espaço suficiente para que possam deitar sem ocorrer amontoamento de uma ave sobre a outra.

- As caixas para o transporte das aves devem estar higienizadas e em bom estado de manutenção.

- Todas as caixas devem ser fechadas antes de ser empilhadas.

- Caixas com aves vivas nunca devem ser arremessadas, balançadas e invertidas.

- As caixas danificadas devem ser repostas para o transporte das aves.

- É essencial o treinamento da equipe responsável pelo carregamento.

Deve-se evitar a exposição solar prolongada da carga durante o carregamento, pois as primeiras aves carregadas podem sofrer estresse térmico. Uma medida preventiva é a plantação de árvores ao redor do galpão, fornecendo sombra sobre a carga do caminhão até o fim da captura (VIEIRA et al., 2009).

2.2.4 Molhamento

O molhamento é considerado um ponto controverso no meio avícola, uma vez que todos o adotam e pouca informação é dada a respeito deste manejo (MACARI; FURLAN; SILVA, 2001).

A prática de molhar a carga surgiu como uma forma de amenizar o calor gerado pela carga de frango vivo. Embora tenha se popularizado, pesquisas que comprovem sua eficiência em amenizar o estresse térmico se fazem necessárias.

Segundo Bayliss e Hinton (1990), a prática de molhar a carga é bastante difundida. Entretanto, informações sobre quando molhar e a quantidade de água necessária para manter as condições de temperatura e umidade confortáveis são importantes para garantir o bem-estar durante o transporte.

A condição térmica básica para molhar a carga deve ser a de temperatura ambiente elevada (calor sensível) e umidade relativa baixa. Ou seja, umidade elevada (acima de 85%) certamente dificultará as trocas térmicas das aves, pois a evaporação da água passa a ser limitada em função da saturação de vapor d´água na atmosfera (SILVA; VIEIRA, 2010).

Segundo Barbosa Filho (2008), os valores da temperatura ambiente e umidade relativa podem ser usados para quantificar e qualificar o micro clima nas caixas com o uso de Tabelas de Entalpia.

Segundo Nääs et al. (2010), as regiões sem penas respondem mais rapidamente a alterações da temperatura ambiente que as regiões com penas. Nascimento et al. (2011) observaram diferenças significativas de temperatura em regiões com e sem penas.

Quando a água entra em contato com a superfície corporal do frango, essa superfície perde calor, porque a água requer calor para mudar do estado líquido para o de vapor.

2.2.5 Transporte

O transporte das aves até o local de abate consiste em uma das mais críticas operações da cadeia logística da avicultura de corte, pois fatores como o clima, horário de transporte, distância da granja até o local de abate, condições das estradas, tipo de caminhão de transporte e a forma de condução do caminhão devem ser bem planejados para evitar perdas.

Segundo Hunter, Mitchell e Matheu (2001), a operação de transporte de frangos de corte de seus locais de produção até a planta de processamento – abatedouro – em virtude das variáveis ambientais, podem gerar estímulos de medo e respostas de estresse e como consequência causar problemas econômicos ao produtor, devido ao elevado número de aves mortas durante o percurso.

Para Broom e Fraser (2010), o transporte e o manejo possuem influência sobre o bem-estar, gerando várias situações de estresse e desconforto. Ainda segundo o autor, durante o transporte, os animais modificam gradualmente seu estado de estresse até atingirem uma nova condição de conforto, que dependerá de variáveis como a condição do veículo, estado de conservação da estrada e, em especial, a forma de condução do motorista.

Durante o transporte, as aves são expostas a diversos agentes físicos estressores como: mudanças bruscas de temperatura (calor e frio extremos) em virtude das condições ambientais externas e do microclima da carga, variações bruscas de aceleração e ruídos extremos (MITCHELL; KETTLEWELL et al., 2009).

O controle dessas variáveis e o monitoramento do microclima gerado em virtude da densidade de aves por caixa, da forma de *arrumação* da carga, e das condições climáticas, como a taxa de insolação no caso do transporte diurno, a velocidade e temperatura do vento, o excesso de umidade relativa, o calor latente e sensível são essenciais para garantir as mínimas condições de conforto para as aves.

Para Barbosa Filho (2008), além das condições ambientais externas (macroclima), as condições ambientais internas das caixas (microclima) durante o transporte em razão das elevadas temperaturas é o maior responsável pelas chamadas mortes na chegada ou *dead on Arrivals (DOA´s).*

Durante o transporte, em decorrência de fatores característicos do percurso até o abatedouro, dentro da carga há uma condição de desconforto em virtude do microclima heterogêneo, que dificulta o equilíbrio térmico das aves e que corrobora com o aumento das perdas em virtude das *DOA´s* e a baixa qualidade do produto final (BARBOSA FILHO, 2008; VIEIRA, 2008).

Como consequência do aumento da frequência respiratória das aves em virtude do desequilíbrio térmico, a concentração de água do ar no interior das caixas chega próxima da saturação, que dificulta o processo de transferência de calor por convecção uma vez que envolve transferência de calor e massa. Torna-se claro a importância da manutenção de um fluxo de ar e controle da umidade da carga durante o transporte.

Durante o transporte, as aves ficam expostas diretamente a radiação solar, que aliado ao aumento de umidade relativa e baixa velocidade do ar na carga (fluxo de ar), aumenta o desconforto das aves (WARRISS; PAGAZAURTUNDUA; BROWN, 2005). Ainda sobre a heterogeneidade do microclima da carga, Barbosa Filho (2008), constatou que a condição de desconforto mais crítica se localiza na camada do meio da carga em virtude da falta de fluxo de ar que dificulta a dissipação do calor.

Warriss, Pagazaurtundua e Brown (2005) e Tabbaa e Alshawabkeh (2000), ressaltam em seus estudos a importância das estações do ano, pois observaram um aumento significativo do número de *DOA´s* no verão quando comparado com a estação de inverno.

Essa informação é importante, pois em regiões com estação de verão extremo e longos, como o nordeste brasileiro, o transporte em horários (turnos) nos quais a intensidade da radiação solar é menos intensa, propicia uma melhor condição de conforto.

Bayliss e Hinton (1990) constataram em seus estudos um aumento significativo de DOA´s no período da manhão para a estação de inverno e no período da tarde para a estação de verão.

Para as regiões do nordeste brasileiro, como no caso do Estado do Ceará, os criadores adotaram o horário de 5h às 10h para o transporte das aves até o abatedouro.

Segundo Webster et al. (1993), a distribuição irregular da umidade relativa das caixas durante o transporte pode ser considerada uma das causas entre a ineficiência das trocas térmica, causando o aumento da temperatura. O estudo ainda mostra um comparativo entre a temperatura da carga com o caminhão em movimento e parado.

Segundo Warriss, Pagazaurtundua e Brown (2005), a alta densidade de aves por caixa reduz a eficiência dos mecanismos de transferência de calor, que por sua vez interferem nos mecanismos de termorregulação pelo aumento da umidade relativa e do baixo fluxo de ar.

A tendência da elevada densidade de aves por caixa é uma consequência do sistema de produção brasileira, que objetiva reduzir custos e otimizar o processo logístico em detrimento do bem-estar do animal, o que contribui para o aumento do número de perdas por *DOA´s*.

Além do micro e macro climas, vale ressaltar que o percurso da granja ao abatedouro exerce impactos consideráveis na carga, fato que deve ser levado em conta no planejamento do transporte. No caso de estradas de terra, a irregularidade das pistas aumenta os níveis de vibração na carga, uma variável pouco estudada e que merece atenção, pois pode contribuir para o aumento de danos na carcaça. Dependendo das condições das vias de transporte, a qualidade da carcaça pode ser comprometida (SILVA; VIEIRA, 2010).

Segundo Bressan (1998), o tempo do transporte deve ser planejado. Quanto maior o tempo de transporte, maior a incidência de lesões na carcaça. Para reduzir o efeito do estresse do transporte, as empresas avícolas evitam o transporte de aves, por percursos cuja distância seja superior a 30 quilômetros.

Segundo a HFAC (2008), o monitoramento é essencial para o controle e manutenção das condições mínimas de conforto para as aves. A tecnologia de monitoramento de temperatura e umidade no interior dos veículos de transporte está disponível. Ela permite que os motoristas adotem as medidas apropriadas para manter as condições ideais para as aves.

Além do uso da tecnologia, os estudos vêm contribuindo para a criação de normas e recomendações que visam o bem-estar do frango de corte durante a operação de transporte (BARBOSA FILHO, 2008).

Assim, a UBA (2008) para o transporte de frangos de corte recomenda que:

- Os veículos devem estar em boas condições de higiene e manutenção, e possuir proteção superior na carga para impedir que as aves escapem das caixas.

- As caixas devem estar em boas condições e recomenda-se que a empresa possua um programa de reposição das caixas danificadas para o transporte das aves.

- Os motoristas devem evitar as paradas no deslocamento das aves da granja ao abatedouro.

- Deve ser estabelecido um procedimento de emergência (suporte) em caso de quebra do veículo que possa ocasionar problemas relacionados ao bem-estar das aves.

- Os motoristas devem ser treinados quanto aos procedimentos de bem-estar animal.

- Recomenda-se que, em condições de temperatura elevada, as aves sejam molhadas antes da saída do caminhão da propriedade (granja).

2.3 Termorregulação e princípios de transferência de calor

Um dos grandes desafios da avicultura é manter o controle das condições ambientais, para proporcionar conforto térmico e auxiliar na recuperação do estresse sofrido pela ave durante as operações de captura e transporte (LUDTKE, 2010).

O organismo das aves produz calor sensível e latente de um modo contínuo, como consequência de um ativo metabolismo que varia segundo as diferentes condições fisiológicas: movimento, repouso, alimentação, digestão, produção de ovos, atividade reprodutora, etc. (MENDES; POSSENTI; PAIXÃO, 2008).

As aves são animais homeotermicos, têm sua temperatura interna constante, e dispõem de um centro termorregulador, localizado no hipotálamo, capaz de controlar a temperatura corporal através de mecanismos fisiológicos e comportamentais, mediante a produção e liberação de calor, determinando assim a manutenção da temperatura corporal normal (MACARI; FURLAN; GONZALES, 1994).

Entre as respostas fisiológicas compensatórias das aves, quando expostas ao calor, inclui-se a vasodilatação periférica, resultando em aumento na perda de calor não evaporativo.Também é observado que as aves procuram aumentar sua superfície de troca térmica para tornar mais efetiva a dissipação de calor, mantendo as asas afastadas do corpo, eriçando as penas e intensificando a circulação periférica. Outra resposta fisiológica importante é o aumento na frequência respiratória, resultando em perdas excessivas de dióxido de carbono (BORGES; MAIORKA; SILVA, 2003).

Em temperaturas elevadas, as aves diminuem o consumo de ração, aumentam o consumo de água e sua frequência respiratória, e experimentam diferentes posicionamentos de pernas (BAÊTA; SOUZA, 2010).

O conjunto dos fatores climáticos que formam o ambiente devem ser considerados na eficiência das trocas térmicas, uma vez que as aves trocam calor com o ambiente de forma contínua, ou seja, há uma faixa de temperatura e umidade relativa que favorecem a neutralidade térmica do frango de corte.

Segundo Déborah (2011), entende-se por neutralidade térmica ou conforto térmico o estado físico no qual todo calor gerado pelo organismo da ave é dissipado em igual proporção com o ambiente para manter a temperatura corporal constante.

Segundo Baêta e Souza (2010), frangos de corte submetidos a temperatura acima de 32 °C e umidade relativa superior a 75%, estão em estresse térmico.

Devido a estreita faixa de temperatura e umidade relativa que separa o conforto térmico da situação de estresse, o conhecimento e a aplicação dos conceitos de termodinâmica e transferência de calor são essenciais para o controle ambiental e, consequentemente, manutenção das condições de conforto.

2.3.1 Transferência de calor

A partir do estudo da termodinâmica clássica, a energia pode ser transmitida através das interações de um sistema e sua vizinhança na forma de calor e do trabalho. Entretanto, a termodinâmica lida com os estados inicial e final ao longo do processo, sem fornecer informações sobre o tempo de duração e a natureza da energia (BERGMAN et al., 2014).

Çengel e Ghajar (2012) ressaltam que a termodinâmica clássica visa determinar a quantidade de energia transferida quando um sistema passa de um estado de equilíbrio para outro. A análise termodinâmica mensura a quantidade de energia para mudar o estado termodinâmico e satisfazer o princípio da conservação de energia.

É interessante observar, pelo exposto, que a termodinâmica clássica lida apenas com sistemas em equilíbrio, sem ser capaz de prever a rapidez com que o sistema muda de estado, pois durante as transformações seus estados intermediários não estão em equilíbrio.

O calor pode ser definindo como a forma de energia transferida de um sistema para outro, em consequência de uma diferença de temperatura, e a ciência que estuda as taxas dessa energia em trânsito é chamada de transferência de calor. O calor flui da maior temperatura para a menor e quanto maior o gradiente de temperatura, maior a taxa de transferência de calor.

Vale ressaltar que o termo calor e expressões associadas como fluxo de calor, calor recebido, calor rejeitdo, calor absorvido, ganho de calor, geração de calor, calor latente, calor corpóreo e fontes de calor, são comumente utilizados, tanto por pessoas comuns, como por cientistas. Entretanto, a tentativa de substituir a palavra calor por energia térmica não obteve êxito (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Observa-se que o estudo das formas de transferência de calor para a determinação do tempo em que a energia flui, em função de um diferencial de temperatura, é de funda- mental importância para o controle do estresse causado pelo calor.

A literatura geralmente reconhece três modos distintos de transmissão de calor: condução, radiação e convecção. Teoricamente, somente os processos de condução e radiação podem ser classificados como transmissão de calor, já que o processo de convecção depende do transporte mecânico de massa (KREITH, 2002).

2.3.2 Transferência de calor por condução

Braga Filho (2004) define a condução de calor como o processo de troca de energia entre sistemas em diferentes temperaturas, que ocorre pela interação molecular, na qual moléculas de nível energético mais alto transferem energia a moléculas de me- nor nível energético. A transferência de energia por condução pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases. Condução pode ser pensada como a transferência de energia a partir das partículas mais energéticas de uma substância de partículas adjacentes que são menos energéticos devido a interações entre as partículas (MORAN et al., 2010).

Há formas apropriadas de quantificar a transferência de calor. A energia transferido por unidade de tempo que possui como unidade de medida o Watt (W), denominada de taxa de transferência de calor. Outra forma de taxa é o fluxo de calor ou térmico que corresponde à taxa de transferência de calor por área, que possui como unidade de medida Watt por área (W/m^2) (BERGMAN et al., 2014).

Tanto a taxa de transferência, quanto o fluxo de energia por condução é quantificada macroscopicamente pela lei de Fourier, conforme equações 1 (taxa de transferência de calor) e 2 (fluxo de calor).

$$Q = -\kappa A \nabla T \tag{1}$$

$$\dot{Q} = -\kappa \nabla T = Q/A \tag{2}$$

Em que: Q é a taxa de transferência de calor (W); $\dot{Q}$ é o fluxo de calor (W/m^2); A corresponde a área da superfície (m^2); κ corresponde a condutividade térmica do material. Essa propriedade fornece uma indicação de como a energia é transferida pelo processo de difusão. Depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular; ∇T corresponde ao campo escalar de temperaturas (BERGMAN et al., 2014; Ç ENGEL; GHAJAR, 2012).

A lei de Fourier é o “tendão de Aquiles” da transferência de calor por condução, pois é baseada em evidências experimentais e define uma importante propriedade dos materiais, a condutividade térmica.

A Tabela 1 apresenta os valores de condutividade térmica de alguns materiais usuais. Os materiais com valores de condutividade térmica elevados, como o cobre, são bons condutores, e aqueles com valores de condutividade baixa são considerados bons isolantes térmicos. A condutividade térmica depende da temperatura, da pureza, do teor de umidade das substâncias.

Tabela 1 – Condutividade térmica de alguns materiais a 298 K (25 °C)

Material	κ, W/m.K
Cobre	401
Alumínio	237
Zinco	110
Ferro	80,2
Aço	52
Vidro	0,78
Tijolo	0,72
Água	0,61
Madeira(carvalho)	0,17
Borracha macia	0,13
Fibra de vidro	0,043
Ar	0,026

Fonte:Cengel e Ghajar (2012), Moran et al. (2010). Adptado pelo autor.

Analisando a equação 2, considerando ∇ o operador "grad" tridimensional e T(x,y,z) o campo escalar de temperaturas, chega-se ao enunciado mais geral da lei de Fourier, equação 3.

$$\dot{Q} = -\kappa \nabla T = -\kappa \left(i \frac{\partial T}{\partial x} + i \frac{\partial T}{\partial y} + i \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

Observa-se a importância do estudo da transferência de calor por condução na área de ambiência e bem-estar animal, na busca de novos materiais para construção de ambientes que atendam às condições de conforto requeridas por cada espécie. Faz-se necessários estudos na área de pré-abate, mais especificamente ao transporte de frangos de corte, envolvendo o projeto de gaiolas e carrocerias de caminhões que maximizem as trocas térmicas por condução e contribuam com a redução e eliminação das perdas produtivas.

2.3.3 Transferência de calor por convecção

A transferência de calor através de um sólido é sempre feita por condução. Já a transferência de calor através de um fluido pode ocorrer por condução ou convecção. Caso não haja movimento no fluido a transmissão do calor será por condução, ou seja, para a ocorrência da transferência de calor por convecção é necessário que o fluido esteja em movimento.

Segundo Bergman et al. (2014), a transferência de calor por convecção abrange dois mecanismos, a transferência de energia ao movimento molecular aleatório e ao movimento macroscópico do fluido.

A transferência de energia entre um sólido e um gás ou um líquido em movimento, que pode ocorrer de forma natural ou forçada, em temperaturas diferentes, são importantes para o desenvolvimento de dispositivos que usam como fundamento a transferência de calor por convecção destinados a climatização de ambientes.

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a convecção é chamada de forçada se o fluido é forçado a fluir sobre a superfície por meios externos, com o uso de máquinas de fluxo. Em contrapartida, a convecção natural ou livre o movimento do fluido será causada por diferenças de densidade de corrente da variação de temperatura do fluido.

Independentemente de sua natureza, a equação do resfriamento de Newton é apropriada para quantificar a taxa (equação 4) e o fluxo (equação 5) de transferência de calor por convecção.

$$Q = h\,A(T_s - T_\infty) \tag{4}$$

$$\dot{Q} = h.(T_s - T_\infty) = Q/A \tag{5}$$

Em que: Q é a taxa de transferência de calor (W); $\dot{Q}$ é o fluxo de calor (W/m^2); A corresponde a área da superfície (m^2); T_s é a temperatura da superfície (K); T_∞ temperatura do fluido (K); e o parâmetro h é chamado de coeficiente de transferência de calor por convecção ou coeficiente de película (W/m^2K).

Convêm ressaltar que o coeficiente de película(h) não é uma propriedade do fluido, é um parâmetro que depende das variáveis que influenciam a convecção. A Tabela 2 apresenta alguns valores típicos.

Tabela 2 – Valores típicos do coeficiente de transferência de calor por convecção

Tipo de convecção	h, $W/m^2.K$
Convecção livre de gases	2 - 25
Convecção livre de líquidos	10 - 1.000
Convecção forçada de gases	25 - 250
Convecção forçada de líquidos	50 - 20.000
Ebulição e condensação	2.500 - 100.000

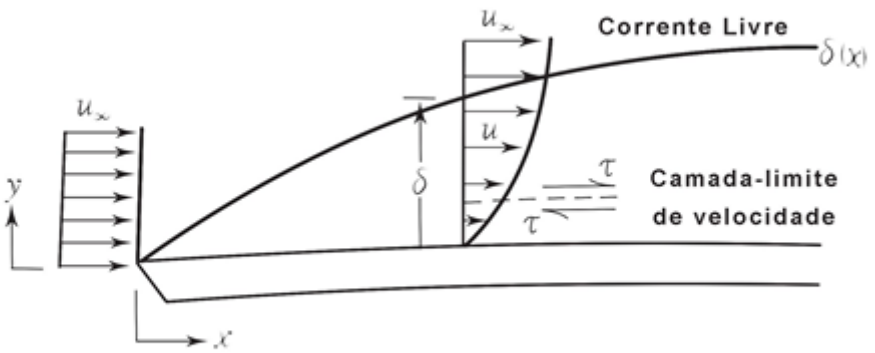
Fonte:Çengel e Ghajar (2012). Adaptado pelo autor.

Devido à dinâmica envolvendo a transferência de calor por convecção, o conhecimento sobre a camada limite é importante, pois além da camada-limite de velocidade surgem dois novos conceitos, a camada limite térmica e camada limite de concentração.

Para entender o conceito de camada-limite de velocidade ou hidrodinâmica, necessita-se recorrer à mecânica dos fluidos. Para a análise dos escoamento de fluidos sobre superfícies sólidas, o escoamento pode ser dividido em duas regiões, uma muito próxima da fronteira sólida (camada-limite) e outra que abrange o resto do escoamento. Apenas na região próxima da fronteira sólida os efeitos das forças viscosas e de inércia são considerados. Fora dos domínios da camada-limite o fluido pode ser tratado como não viscoso (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2014).

Para simplificar o entendimento do conceito de camada-limite de velocidade, será analisado o escoamento de um fluido sobre uma superfície plana, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Camada-limite de velocidade ou hidrodinâmica para um fluido se movimentando sobre uma placa plana

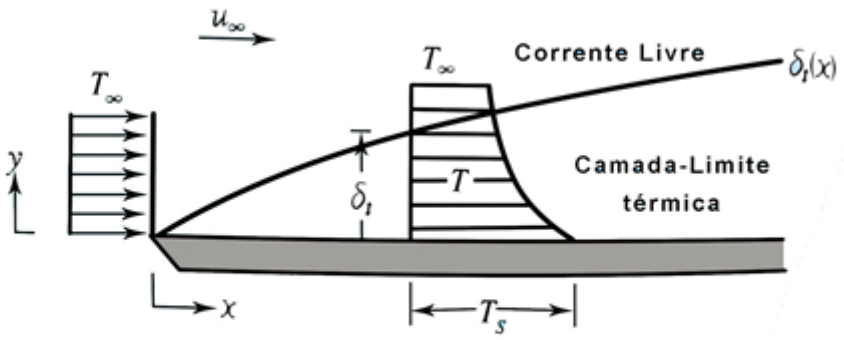


Fonte: Elaborado pelo autor

Quando um fluido se movimenta a uma determinada velocidade, surgem forças devido aos efeitos viscosos e de pressão. Supondo que o fluido seja composto por camadas e quando do seu contato com a superfície, sua velocidade é reduzida em relação a velocidade de origem devido a forças de cisalhamento que atuam em planos que são paralelos à velocidade do fluido. A região de escoamento acima da superfície delimitada por δ, em que os efeitos das forças de cisalhamento viscoso causadas pela viscosidade do fluidos são sentidos, é chamada de camada limite de velocidade. A espessura da camada limite δ é normalmente definida como a distância y, a partir da superfície em que u = 0,99V (BERGMAN et al., 2014; ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Como observado na camada-limite de velocidade, a camada-limite térmica se desenvolve quando um fluido a uma determinada temperatura escoa sobre uma superfície que se encontra em temperatura diferente, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Camada-limite térmica para um fluido se movimentando sobre uma placa plana.

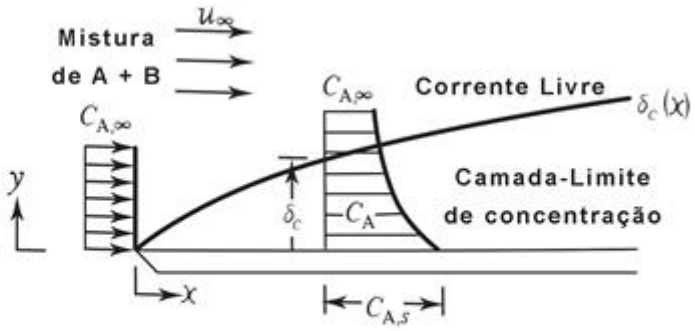


Fonte: Elaborado pelo autor

O fluido escoa a uma temperatura T1 uniforme sobre uma placa a uma temperatura T2. Devido a troca de energia entre as camadas do fluido e a superfície sólida, há o desenvolvimento de gradientes de temperatura no fluido. A região do fluido na qual há esses gradientes de temperatura é denominada de camada-limite térmica. A espessura da camada limite térmica δ_t é definida como a distância da superfície em que a diferença de temperatura (T2-T1) equivale a 0.99 (T2-T1) (BERGMAN et al., 2014; Ç ENGEL;GHAJAR, 2012).

Quando o ar se movimenta em uma superfície úmida, observa-se que após um certo período de tempo essa umidade desaparece. Nesse caso, a água irá evaporar e vapor de água será transferido para o ar em movimento. Na Figura 4, observa-se o escoamento de uma mistura binária de espécies químicas A e B, que escoa sobre uma superfície sólida plana. As concentrações da espécie química A na superfície e no fluido em movimento são $C_{A,\infty}$ e CA,s. Caso a concentração da espécie A na superfície for maior que no fluido em movimento, ocorrerá a transferência da espécie A por convecção da superfície para o fluido. Nesta situação uma camada-limite de concentração, que será similar as camadas limites de velocidade e térmica, irá se desenvolver. A camada-limite de concentração e´ definida como a região do fluido na qual ha´ gradiente de concentração e sua espessura pode ser definida como o valor de $\left[\left(C_{A,s} - C_A\right)/\left(C_{A,s} - C_{A,\infty}\right)\right] = 0{,}99$ (BERGMAN et al., 2014).

Figura 4 – Camada-limite de concentração para um fluido se movimentando sobre uma placa plana



Fonte: Elaborado pelo autor

Como demonstrado, a transferência de calor por convecção depende fortemente das propriedades do fluido, como viscosidade dinâmica, condutividade térmica, densidade, calor específico a pressão constante e velocidade. Devido a esta dependência, é comum adimensionar a equação para reduzir o número de variáveis.

Embora a equação do resfriamento de Newton pareça simples, devido a movimentação do fluido e das propriedades das camadas limites hidrodinâmica e térmica para determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção, recorre-se ao número de Nusselt, como mostra a equação 6. O número de Nusselt representa a razão entre as transferências de calor por convecção e somente por condução.

$$Nu = \frac{h\,L_c}{\kappa} \tag{6}$$

Em que: κ é a condutividade térmica do fluido; L_c é o comprimento característico da superfície de interesse; Nu é o número adimensional de Nusselt e h representa o coeficiente de calor por convecção (KAKAC; YENER; PRAMUANJAROENKIJ, 2013).

Outros números adimensionais referentes ao processo de convecção envolvendo os fenômenos de transferência de momentum, calor e massa podem ser pesquisados nas referências informadas.

Uma aplicação importante da teoria da convecção é o processo de resfriamento evaporativo, que ocorre quando um gás escoa sobre um líquido ou uma superfície úmida. Os sistemas de nebulização e ventiladores utilizados no controle de temperatura nos galpões de criação e espera utilizam tais conhecimentos, e fica evidente que não basta só instalar equipamentos sem o dimensionamento correto e análise das variáveis ambientais.

Já no caso da prática do molhamento da carga de frango vivo, vale ressaltar que devido ao *layout* compacto da carga e da densidade de aves por caixa, a circulação de ar entre as caixas é prejudicado, e como principal consequência, o processo de resfriamento evaporativo é prejudicado, diminuindo a dissipação térmica que pode contribuir para o aumento do número de aves motas por *dead on Arrivals (DOA´s).*

2.3.4 transferência de calor por radiação

Os dois processos de transferência de calor discutidos até o momento necessitam de um gradiente de temperatura em alguma forma de matéria. A transferência de calor por radiação apresenta uma característica singular que o diferencia da condução e convecção de calor: não exige a presença de um meio material para a propagação da energia.

Segundo Modest (2013), os termos transferência de calor radioativa e radiação térmica são usados para descrever a transferência de calor causada por ondas eletromagnéticas.

Segundo Bergman et al. (2014), independente da forma da matéria, a emissão de energia pode ser atribuída a mudanças nas configurações eletrônicas dos átomos e moléculas que constituem os corpos. Assim, todo corpo com temperatura diferente do zero absoluto emite energia através de ondas eletromagnéticas ou de forma alternativa por fótons.

É um mecanismo de transferência de energia interessante, pois é relevante em muitos sistemas de climatização na avicultura de corte, como o uso de fornalhas a lenha, campânulas infravermelhas a gás e tambores de aquecimento por radiação para aquecimento de pintos de corte no período do inverno (CORDEIRO et al., 2010).

A taxa máxima de radiação emitida de uma superfície a uma temperatura termodinâmica é dada pela lei de Stefan-Boltzmann (equação 7).

$$Q = \sigma A_s T^4 \qquad (7)$$

Onde: Q é a taxa máxima de radiação emitida de uma superfície (W); A_s corresponde a área da superfície emissora de radiação (m^2); T é a temperatura termodinâmica da superfície (K) e σ = 5,670 x 10^8 W/m^2K^4 é conhecida como constante de Stefan – Boltzmann.

A superfície idealizada que segue a lei de Stefan-Boltzmann (equação 2.7) é chamada de corpo negro. O corpo negro absorve toda radiação incidente, independente do comprimento de onda e de sua direção; nenhuma superfície pode emitir mais radiação que o corpo negro (BERGMAN et al., 2014).

Uma superfície real emite menos energia que o corpo negro e a lei de Stefan-Boltzmann pode ser expressa pela equação 8.

$$Q = \varepsilon\sigma A_s T^4 \tag{8}$$

Onde: Q é a taxa máxima de radiação emitida de uma superfície (W); A_s corresponde a área da superfície emissora de radiação (m^2); T é a temperatura termodinâmica da superfície (K) ; σ = 5,670 x 10^8 W/m^2K^4 é conhecida como constante de Stefan – Boltzmann e ε é a emissividade da superfície.

A emissividade dos materiais é uma fração correspondente a do corpo negro quando nas mesmas condições. Isso significa que seus valores podem variar de 0 a 1, como pode ser observado na Tabela 3. A emissividade é uma variável importante, pois o desenvolvimento de materiais de alta emissividade, como tintas especiais, pode ser utilizado para a redução do consumo de energia para a geração de calor (NOVO et al., 2014).

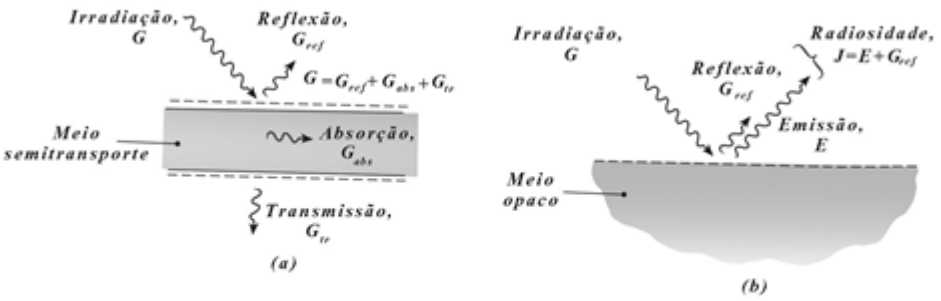
Tabela 3 – Exemplo de emissividade de alguns materiais a 300K

Material	ε, Emissividade
Cobre polito	0,07
Pintura preta	0,82
Pintura branca	0,90
Tijolo vermelho	0,93 - 0,96
Couro	0,95
Vegetação	0,92 - 0,96

Fonte:Çengel e Ghajar (2012). Adaptado pelo autor.

A Figura 5 representa a interação entre a radiação térmica e uma superfície. Quando a radiação incide sobre a superfície, uma parte da energia será refletida, outra absorvida, e outra transmitida e tais frações definem as propriedades de refletividade (ρ), absorvidade (α) e transmissividade (τ). Da interação entre a radiação e a superfície, há vários fluxos térmicos pertinentes ao estudo da radiação.

Figura 5 – Interação entre a radiação térmica e uma superfície semitranspa- rente (a) e opaca (b).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o transporte de frango vivo, as aves estão expostas a diversos níveis de radiação solar (infravermelha e ultravioleta) e com a prática do molhamento da carga, quanto maior o tempo de exposição a radiação infravermelha, maior será o acumulo de energia devido a capacidade térmica e ao calor específico em decorrência do excesso de vapor de água nas caixas, que contribui para o aumento da temperatura e a criação de um microclima desfavorável para o processo de termorregulação das aves.

O monitoramento da variação de temperatura na carga se faz necessário para o controle ambiental, o produtor necessita responder de forma rápida e precisa as variações térmicas. A termografia vem se destacando no campo da zootecnia de precisão como uma ferramenta eficiente, devido a sua velocidade de análise.

2.4 Termografia

A agroindústria vem apresentando profundas modificações com o avanço das pesquisas científicas. Novas ferramentas de coleta e análise de dados são aplicadas para gerar informações confiáveis e, assim, decisões podem ser tomadas com o objetivo de aumentar a produtividade.

Muitas ferramentas de análise, de planejamento, de representação, de coleta, de atuação e de predição de variáveis-respostas são largamente aplicadas à agricultura moderna, de precisão. Dentre elas, cita-se o uso de GIS (Geographical Information System), de GPS (Global Positioning System), de sistemas de coleta de dados com memória integrada para registro de dados (Data Loggers) e de inteligência artificia (DA SILVA, 2007).

Este avanço tecnológico surgiu com o conceito de agricultura de precisão que passou a usar as técnicas de análise da indústria de transformação para diminuir as perdas localizadas. A agricultura de precisão surge, então, como forma de aumentar a produtividade; otimizar a área de utilização; reduzir as perdas; otimizar os insumos; aumentar a segurança e o controle alimentar; otimizar os recursos naturais; preservar o meio ambiente.

Assim como na agricultura de precisão, utilizada na produção de grãos, a produção animal vem se utilizando da tecnologia para garantir o incremento da produção, fazendo surgir um novo conceito na produção de alimentos: a zootecnia de precisão. A zootecnia de precisão surge com o desafio de conciliar a produção com o bem-estar, ou seja, produzir sem que o animal sofra estresse (DA SILVA, 2007).

Dentre as várias tecnologias disponíveis, a termografia infravermelha vem se destacando com o desenvolvimento de pesquisas na área de ambiência animal e veterinária.

O uso da termografia para determinação da distribuição de temperatura de um sistema se fundamento no princípio físico que todos os objetos emitem radiação infravermelha.

A intensidade da radiação emitida por um objeto depende de dois fatores: a temperatura do objeto e a capacidade do objeto de emitir radiação. Todos os materiais com uma temperatura acima do zero absoluto (-273,15°C) irradiam calor. A radiação de calor significa o mesmo que radiação infravermelha. Quanto mais quente está o objeto, maior a radiação.

Segundo Cerdeira et al. (2011), a termografia por infravermelho pode ser definida como uma técnica de avaliação baseada na detecção da radiação, possibilitando a medição de temperaturas e a observação de padrões de distribuição de calor. Consiste na captação de imagens de calor (termogramas) através de sua distribuição de temperaturas. Para Tarpani et al. (2009), a termografia infravermelha é uma técnica de ensaios não-destrutivos que se baseia no mapeamento térmico.

Ainda segundo Tarpani et al. (2009), o mapeamento térmico consiste em um termograma que exibe as diferentes temperaturas locais no componente, na forma de gradientes de coloração, sendo o imageamento térmico realizado, em geral, por termovisores ou câmeras termográficas.

Dependendo da aplicação, a técnica por termografia pode ser dividida em: termografia qualitativa, quantitativa e analítica. Na termografia qualitativa, as informações obtidas sobre determinado material provêm da análise de diferenças em seus padrões de distribuição de temperaturas. Na termografia quantitativa, as informações provêm da medição direta das temperaturas associadas aos padrões de distribuição térmica. E a termografia analítica dedica-se à otimização do tratamento estatístico dos resultados obtidos e a tradução dos dados térmicos em termos econômicos (VERATTI, 1992).

Tanto a câmera, como o termovisor por infravermelhos são aparelhos que detectam energia infravermelha (calor), a convertem em sinal eléctrico e produzem imagens, efetuando cálculos de temperatura. A tecnologia utilizada nos detectores e sensores e o software hoje disponível, permite a realização de inspecções termográficas precisas.

A Figura 6 mostra o termograma durante a operação de molhamento. A foto térmica mostra a distribuição de temperatura superficial da carga e do operador que pode ser quantificada através de uma escala de cores. Comprova-se, através do termograma, a facilidade da análise para a avaliação do estresse térmico.

Figura 6 – Distribuição de temperatura através de termograma obtido por termovisor.

Fonte: Elaborado pelo autor

A análise da temperatura da pele por imagem infravermelha é o meio mais eficiente para o estudo da distribuição da temperatura cutânea atualmente. A termometria cutânea é um método diagnóstico que avalia a microcirculação da pele e que, indiretamente, também avalia o sistema nervoso autônomo simpático (ABERNATHY; BRANDT; ROBINSON, 1984). A temperatura infravermelha pode detectar alterações no fluxo sanguíneo periférico, podendo ser uma ferramenta útil para avaliar o estresse em animais (STEWART et al., 2005). A análise de termografia infravermelha torna possível identificar pontos de valores distintos de temperatura radiante e tem sido valiosa para o reconhecimento de eventos fisiológicos em animais (BOUZIDA; BENDADA; MALDA- GUE, 2009).

Além do estresse térmico, a termografia vem sendo utilizada para a identificação de processos inflamatórios em suínos, podendo servir como ferramenta para auxiliar a redução de descartes de reprodutores e condenações de carcaças em abatedouros (GRA-CIANO et al., 2014).

A termografia apresenta-se como uma ferramenta de análise rápida e precisa por apresentar as seguintes vantagens:

- É uma ferramenta de análise não invasiva e não destrutiva, pois não há a necessidade implantar sensores no animal.

- É uma técnica segura, pois o operador não necessita entrar em contato direto com o animal em estudo.

- Os termovisores e câmeras por infravermelho não emitem qualquer tipo de radiação, registram a radiação emitida pelo material.

- É de fácil análise, software são desenvolvidos pelos fabricantes para diminuir os erros de interpretação dos usuários.

Porém, devido à dependência dos processos de transferência de calor, a técnica de análise termográfica apresenta as seguintes limitações:

- É influenciada por variáveis ambientais como a radiação solar, temperatura ambiente, velocidade do ventos e umidade da superfície.

- Requer treinamento específico.

- Requer a determinação da emissividade do material.

-Verificar a geometria e tipo da superfície.

- Verificar a distância.

- Requer altos investimentos devido ao custo do equipamento.

2.5 Cálculo do índice de conforto térmico

A avicultura pode e deve fazer uso de índices de conforto térmico, que foram criados para quantificar e qualificar o desconforto térmico do animal.

A grande vantagem do uso dos índices de conforto é a obtenção dos valores das variáveis envolvidas em seu cálculo, que podem ser obtidos com o uso de equipamentos de fácil manuseio.

Porém, uma desvantagem no uso dos índices de conforto é a determinação dos limites de conforto, uma vez que dependem da fisiologia de cada animal.

Para a caracterização do estresse térmico nesta pesquisa, foram utilizados os limites de temperatura de 21 a 23 °C e de umidade relativa de 65 a 70%, definidos por Macari, Furlan e Silva (2001).

A avaliação do conforto térmico foi baseada no Índice Entalpia de Conforto (IEC), equação 9, de acordo com Rodrigues et al. (2011). A pressão barométrica utilizada nessa fórmula foi de 760 mmHg, que corresponde a pressão barométrica ao nível do mar.

$$h = 1{,}006t + \frac{UR}{P_b} 10^{7{,}5t\,(237{,}3+t)^{-1}} (71{,}28 + 0{,}052t) \qquad (9)$$

Onde:

h é a entalpia,kJ/kg ar seco;

t corresponde a temperatura de bulbo seco do ar, °C;

UR corresponde a umidade relativa,%,

P_b corresponde a pressão barométrica local, mmHg.

O IEC quantifica a energia interna e a compara com um valor de referência. Para uma avaliação prática do Índice Entalpia de Conforto (IEC), nesta pesquisa, foi utilizada a Tabela de Entalpia para frangos de corte na sexta semana de vida (Anexo) para regiões situadas ao nível do mar, eleborada por Queiroz, Barbosa Filho e Vieira (2012).

As tabelas são divididas em 4 faixas: a de conforto (faixa verde), a intermediaria (faixa amarela), a crítica (faixa laranja) e a letal (faixa vermelha). Os valores inclusos nestas faixas são dependentes dos limites inferior e superior de conforto do índice em questão, baseado em cada semana do ciclo de criação da ave (QUEIROZ, 2014).

A Tabela 4 apresenta os valores dos limites inferiores e superiores do IEC da Tabela de Entalpia referentes a sexta semana para frangos de corte. Esse valores foram utilizados para quantificar e qualificar o micro clima da fileira central e serviu como fator determinante para a avaliação do efeito do molhamento durante o transporte.

Tabela 4 – Classificação dos intervalos do IEC para frangos de corte na sexta semana de vida.

Variação de Entalpia (KJ/kg de ar seco)	Classificação	Tabela de Enpalpia
37,4 - 52,1	Conforto	(Verde)
52,2 - 63,0	Alerta	(Amarelo)
63,1 - 72,6	Crítico	(Laranja)
72,7 - 106,0	Letal	(Vermelho)

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.6 Sensação térmica

Na ambiência animal, os índices de conforto são utilizados para quantificar e qualificar o nível de desconforto do animal. A grande maioria dos índices levam em conta somente fatores metereológicos, como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) proposto por Thom (1958), que utiliza as temperaturas de bulbo seco e a temperatura de orvalho. Outro índice utilizado é o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), desenvolvido por Buffington et al. (1981) e utiliza como variáveis a temperatura de globo negro, a umidade relativa do ar, velocidade do ar e a radiação solar para seu cálculo.

Para medir a quantidade de energia interna de um ambiente em relação a um ponto de referência, surgiu o índice que mede a entalpia, inicialmente proposto por Albright et al. (1990) e aperfeiçoado por Rodrigues et al. (2011).

No caso do transporte de frangos de corte, em decorrência do aumento do fluxo de ar, a taxa de resfriamento é mais rápida por causa dos altos valores de coeficientes de transferência de calor por convecção, associados ao aumento da velocidade do ar.

Segundo Frota e Schiffer (1999), a pele pode ser considerada o principal órgão termorregulador, pois é através dela que se realizam as trocas de calor.

O desenvolvimento de índices que quantifiquem a perda de calor em função do tipo de pele e da quantidade de cobertura de penas, na avicultura, são necessários para estabelecer o conforto das aves durante o transporte.

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a expressão sensação de resfriamento é utilizada para relacionar a taxa de perda da temperatura da pele, sob condições de vento a uma temperatura equivalente do ar em calmas condições (velocidade de até 5 km/h).

A sensação térmica representa a temperatura que sentimos quando estamos expostos a determinadas condições de temperatura do ar e velocidade do vento, a medida da sensação térmica é de fundamental importância para o projeto de ambientes confortáveis. A sensação térmica também é conhecida como efeito de *Wind Chill* e pode ser calculada a partir da equação 10 que representa a temperatura equivalente de *Wind Chill*.

$$TWC = 33 + \left(10\sqrt{V} + 10{,}45 - V\right)\frac{t - 33}{22} \tag{10}$$

Onde:

TWC é a temperatura equivalente de *Wind Chill*,°C;

V é a velocidade do vento em km/h;

t é a temperatura do vento em °C.

2.7 Geoestatística

A análise estatística tradicional considera que cada observação pontual é um resultado independente de uma variável casual. Porém, a geoestatística leva em consideração a dependência espacial e no entendimento de que cada ponto no espaço não apresenta um

único valor, mas uma distribuição de probabilidades de ocorrência de valores. A ge- oestatística leva em consideração que cada ponto no espaço interage com seu vizinho (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Segundo Landim (2006), os estudos do engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel, que desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimativa para o cálculo de reservas minerais, a qual posteriormente recebeu tratamento formal por G. Matheron, com o nome Geoestatística, para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial.

Segundo Xavier, Cecílio e Lima (2011), a interpolação de dados espaciais é necessária sempre que se necessite estimar uma variável numérica qualquer, em uma determinada posição geográfica, onde não existe informação sobre a variável em estudo.

Ainda segundo Xavier, Cecílio e Lima (2011), para realizar a interpolação espacial é essencial que existam na região de interesse pontos amostrais e através de funções matemáticas , pode-se estimar através de pontos existentes a variável para o local de interesse não medido.

A krigagem, é um método de interpolação de dados, que usa a dependência espacial entre as amostras, para estimar valores em qualquer posição dentro do espaço analisado, ao qual o modelo do semivariograma foi ajustado, sem tendência e com variância mínima (DE ARAÚJO; EDUARDO, 2006).

Yamamoto e Landim (2013) ressalta que a Krigagem é um processo geoestatístico de estimativa espacial e/ou temporal, com base em valores adjacentes quando interdependentes pela análise variográfica e que a Krigagem apresenta estiamtivas não tendenciosas e mínima variância associada ao valor estimado. O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço.

O método de krigagem possui larga aplicação em geologia na determinação de jazidas minerais (LANDIM, 2006). Porém, vem ganhado espaço na agricultura de precisão na determinação de parâmetros de fertilidade do solo, atributos de cultura e topografia da área de cultivo (VIEIRA, 2000; FARIAS et al., 2003).

A Figura 7 apresenta as etapas da análise geoestatística.

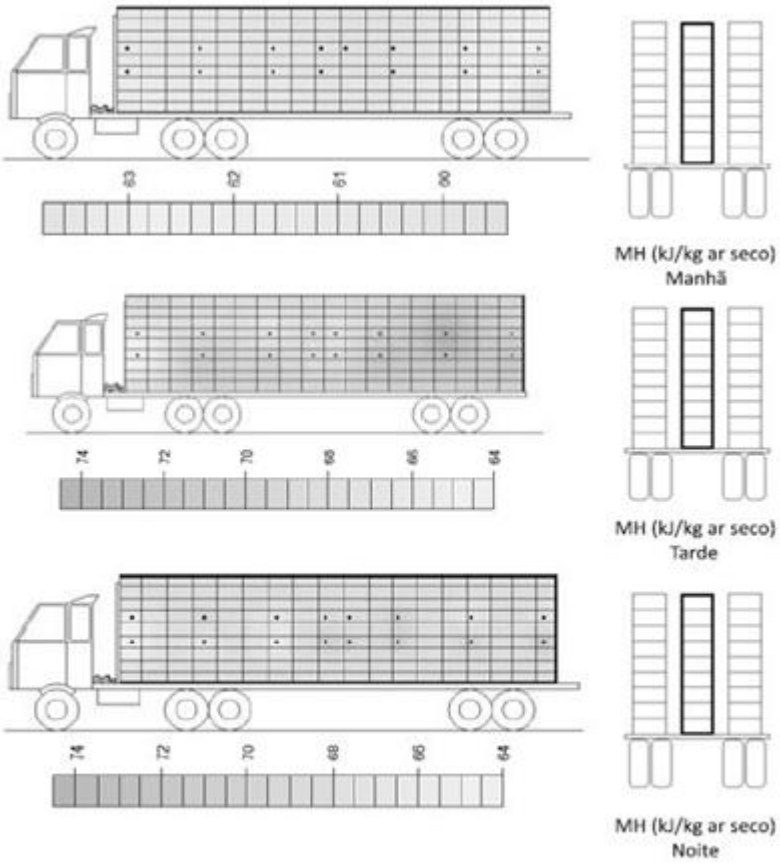
Figura 7 – Etapas da análise geoestatística.

Fonte: Silva e Malagutti Filho (2010). Adaptado pelo autor.

Na área de ambiência animal, devido ao elevado custo dos equipamentos de medição das variáveis ambientais e da extensão da área a ser medida, a geoestatística vem sendo utilizada com sucesso. Como trabalho pioneiro na área, pode-se citar Barbosa Filho (2008), que mapeou a temperatura, a umidade relativa e o IEC na operação de transporte de frango vivo, determinando os pontos críticos em relação ao conforto das aves durante o deslocamento da granja até o abatedouro.

Por trás do rigor matemático dos métodos de interpolação, a Krigagem fornece o mapeamento da variável em estudo em função de sua posição no espaço através de isolinhas, o que facilita a análise mostrando os pontos de concentração da variável em estudo como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Perfil térmico do Índice Entalpia de Conforto ao longo da fileira do meio da carga para os três carregamentos avaliados e seus respectivos turnos.



Fonte: Barbosa Filho et al. (2009)

Outro trabalho na área de ambiência animal, que utilizou o método de interpolação de Krigagem foi o de Queiroz (2014), na análise da temperatura da cama de frango, velocidade do vento e luminosidade de galpões com sistema de nebulização, onde a avaliação da geoestatística e confecção dos mapas de krigagem foram uma ferramenta visual que possibilitou definir áreas com diferentes variabilidades espaciais para os atributos micro- climáticos avaliados e auxiliou na identificação de áreas específicas problemáticas dentro dos galpões.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma empresa dedicada à produção e comercialização de frangos e ovos no Estado do Ceará. A empresa possuia uma unidade destinada à criação de frangos de corte e uma unidade de abate, distante 25 km da unidade de produção, com capacidade nominal de 10.000 aves/dia.

Tanto a unidade de criação quanto a de abate estavam localizadas no município de Beberibe, distante 70 km da capital cearense. O clima da região é do tipo AW, segundo a classificação de Koppen, com precipitações irregulares, deficiência hídrica moderada a baixa e temperatura média acima dos 18 °C.

O experimento foi dividido em duas etapas, abrangendo um período de seis meses, de julho a dezembro de 2014, durante a estação de verão. As aves utilizadas no experimento à da linhagem Ross, com 42 dias de vida (seis semanas) e peso médio de 3,50 kg/ave.

Para avaliar a eficiência da operação de molhamento em atenuar o estresse térmico durante o transporte até a unidade de abate, foram acompanhados 8 carregamentos: 4 carregamentos realizando o molhamento da carga durante os meses de julho e agosto de 2014 e 4 carregamentos sem molhar a carga durante os períodos de outubro a dezembro de 2014. Todo o experimento foi realizado sem comprometer o ritmo de produção da empresa.

A carga de cada caminhão acompanhado no experimento era composta por três fileiras de treze caixas na horizontal e nove caixas na vertical, totalizando trezentos e cinquenta e uma caixas (Figura 9).

Figura 9 – Caminhão utilizado no transporte de frangos até o abatedouro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As caixas de transporte eram feitas de polietileno de alta densidade, com portinhola de correr, e com as seguintes dimensões externas: altura de 32 cm, largura de 56 cm, comprimento de 76 cm (Figura 10). A densidade de aves em cada caixas era de seis frangos.

Figura 10 – Caixa de transporte de frango vivo utilizada pela empresa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Variavéis respostas

Os dados referentes às medidas de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento para a avaliação da prática de molhamento foram coletados continuamente durante os acompanhamentos das 8 cargas com e sem o molhamento, à medida em que as operações de captura, carregamento e transporte foram realizadas, conforme descrito a seguir.

Captura - Foi realizada a coleta da temperatura e umidade relativa do galpão a cada mi- nuto com o uso de miniestação meteorológica (*Data Logger*) para a caracterização climática.

Carregamento - A distribuição da temperatura superficial das laterais, topo e parte tra- seira da carga foi caracterizada através de termogramas; a caracterização do microclima das caixas pertencentes a parte central da carga (fileira central) foi medida a cada minuto através da instalação de 18 *Data Logger*; a coleta da temperatura e umidade relativa do ambiente externo foi realizada a cada minuto com o uso de miniestações meteorológicas (*Data Logger*) para caracterização climática.

Transporte - Através de termogramas foi caracterizada a distribuição da temperatura su- perficial das laterais, topo e parte traseira da carga; a coleta da temperatura e umi- dade relativa da parte central da carga foi realizada a cada minuto com o uso de miniestações meteorológicas (*Data Logger*) para caracterização do microclima das caixas; e termoanemômetros foram instalados nas laterais direita, esquerda e topo da carga para caracterizar a sensação térmica.

Descarregamento - Foi realizada a caracterização climática do ambiente interno e ex- terno da área de descarregamento através da coleta da temperatura e umidade rela- tiva a cada minuto, com o uso de miniestações meteorológicas (*Data Logger*).

3.2 Equipamentos utilizados

Para medir a temperatura superficial durante a operação de transporte, foi uti- lizado um termovisor da marca FLIR™ (Figura 11) com as seguintes características: faixa de temperatura de -20°C a 250°C, com emissividade e parâmetros de temperatura refle- tida ajustáveis para precisão de medição. O equipamento foi fornecido com certificado de calibração.

Figura 11 – Termovisor utilizado para medição e registro da temperatura superficial

Fonte: FLIR (2014). Adaptado pelo autor.

Para o registro da temperatura e umidade relativa durante o experimento, foram utilizados sensores protegidos de temperatura e umidade (miniestações metereológicas) com memória acoplada da marca Onset™ modelo HOBO U23 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger - U23-001 (Figura 12), com as seguintes características: memória com capacidade de armazenamento de 42.000 registros; faixa temperatura de -40°C a 70°C (± 0,21°C) e faixa de umidade relativa de 0% a 100% (± 3%).

Figura 12 – Miniestação meteorológica - *Data Logger*.

Fonte: ONSET (2014). Adaptado pelo autor.

O registro da velocidade e temperatura do vento para a determinação da sensação térmica durante a operação de transporte foi realizado através de termoanemômetro com memória interna, da marca minipa modelo MDA-20 (Figura 13) com as seguintes características operacionais: faixa de medição de velocidade de 2m/s ~ 30 m/s; faixa de medição de temperatura de 0°C ~ 40°C e memória interna com capacidade de 2.044 registros.

Figura 13 – Termoanemômetro para cálculo da sensação térmica.

Fonte: Minipa (2014). Adaptado pelo autor.

3.3 Descrição das atividades de captura, carregamento e molhamento

A granja possuía uma equipe de onze funcionários treinados nas operações pré-abate e dedicados ao trabalho de transporte dos frangos até o abatedouro, composta por: seis empregados responsáveis pela captura das aves, um para o controle de pesagem, dois dedicados à arrumação e amarração da carga, um com a função de realizar o molhamento e um com a função de motorista. A empresa decidiu pelo transporte nas primeiras horas do dia para evitar que as aves sofram com o calor proveniente da radiação solar. Assim, as atividades iniciavam por volta das 4h30min. Devido à dinâmica da empresa, as aves não passavam pelo jejum alimentar.

A equipe responsável pela separação do lote e captura utilizavam o método japonês de captura, com o auxílio de sacolas de lona de algodão para transportar as aves para a pesagem e distribuição nas caixas de transporte.

As sacolas possuíam capacidade para seis aves e um peso médio de 20,7 kg que, após o controle de pesagem, seguiam do galpão para a área de carregamento. O conteúdo de cada sacola era despejado nas caixas de transporte, que já se encontravam na carroceria do caminhão, onde eram fechadas e empilhadas de forma a obter uma

configuração compacta que, permitia em uma única viagem, transportar o máximo de aves até o abatedouro ou atender à demanda do setor de vendas.

Durante a arrumação da carga, mais precisamente quando metade da carroceria do caminhão era ocupada pelas caixas, um funcionário, com o auxílio de uma mangueira de uma polegada de diâmetro, iniciava o molhamento a partir do topo da carga.

A água utilizada era proveniente de poço artesiano,motivo pelo qual, possivelmente, apresentava elevado teor de cloreto de sódio. A água, portanto, não era potável, era salgada (salobra). Com o auxílio de uma bomba centrífuga era transportada até caixas d' água de 5.000 L. Devido ao tempo de armazenamento e ao horário de carregamento, a temperatura média da água era de 19 °C.

Para o molhamento da carga também era utilizada a força motriz de uma bomba centrífuga. Observou-se que o responsável pelo molhamento não utilizava nenhum critério que garantisse que todas as caixas recebessem a mesma quantidade de água. Basicamente a mangueira era introduzida em caixas escolhidas aleatoriamente por um certo período de tempo, que também não seguia nenhum critério, e por gravidade a água escorria pela coluna da caixa escolhida.

Durante este trabalho foi perguntado ao funcionário sobre a importância do molhamento e a resposta obtida, até certo ponto curiosa, foi a seguinte: "Faz mais de quinze anos que trabalho com frango e só sei que todo mundo molha (...) A vantagem é que facilita carregar e descarregar o caminhão, fica mais fácil por não ter que respirar pó e penas."

Pela resposta, observou-se que a principal preocupação era evitar a emissão de particulados provenientes da cama e das penas durante o carregamento e descarregamento. Em nenhum momento foi mencionado que o molhamento gera conforto para a ave ao diminuir a temperatura da carga.

Após a amarração da carga, o molhamento era finalizado e a carga iniciava sua viagem de 25 km até o abatedouro. O percurso possuía 22 km de asfalto em perfeita condição e 3 km de estrada sem pavimentação.

A Tabela 5 apresenta a média de tempo para a realização de cada operação e o consumo de água na operação de molhamento.

Tabela 5 – Tempo e consumo de água durante as perações de captura, carregamento, transporte e descarregamento.

Operação pré-abate	Tempo (min)	Consumo de água (L)
Captura	80	-
Carregamento	180	2.200
Transporte	42	-
Descarregamento	55	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para contabilizar o consumo de água apresentado pela Tabela 5, utilizou-se o tempo médio necessário para encher um recipiente de 10 L, calculando sua vazão volumétrica, durante cada carregamento.

Para cada carregamento o consumo médio era de 2.200 L. A granja realizava um carregamento por dia até o abatedouro, logo em trinta dias o consumo médio chegava a 66.000 L. Vale ressaltar que a qualidade da água utilizada pela granja (salobra), possui baixa eficiência na dissipação de calor em comparação com a água potável.

A informação da quantidade de água gasta durante a prática do molhamento é importante, pois a tendência de crescimento da demanda por carne de frango, obriga- ria a empresa a aumentar sua capacidade de abate, o número de transporte de frangos e investimentos para garantir a demanda de água para a prática do molhamento.

Os dados de consumo de água indicavam uma possível não utilização racional da água, pois em uma região, com limitações de recursos hídricos, devido a períodos de estiagem prolongados, esta água teria uma aplicação mais efetiva se fosse tratada para a retirada do excesso de sais e assim garantir a demanda hídrica dos animais.

Devido à logística adotada, as aves não passavam pela etapa de espera, ou seja, o abate iniciava ao final do descarregamento.

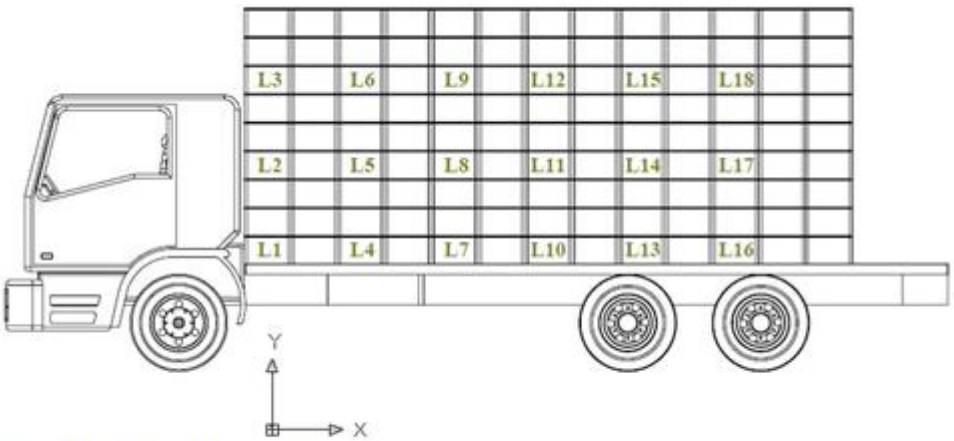
3.4 Monitoramento do estresse térmico

A análise do estresse térmico para verificar a eficiência da operação de molhamento foi realizada conforme descrito a seguir.

As laterais externas da carga (lateral direita, lateral esquerda, topo e traseira) foram analisadas com o uso de termovisores, cujo principal objetivo foi determinar a distribuição de temperatura superficial da carga. O tratamento dos termogramas foi feito com o uso de *software* específico fornecido pelo fabricante.

Devido à impossibilidade de analisar a distribuição de temperatura na fileira central da carga através de termogramas, em virtude do termovisor não ter alcançado a referida fileira, utilizou-se 18 miniestações meteorológicas distribuídas ao longo da fileira central para a coleta da temperatura e umidade relativa a cada minuto para determinação do Índice Entalpia de Conforto (IEC), conforme metodologia de Barbosa Filho (2008).

Figura 14 – Representação da localização dos *Data Logger* na fileira central da carga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura, 14 o *Data Logger* é representado pela letra (L) e sua localização na fileira central representada por um número (1 a 18). Assim, L1 indica a localização do *Data logger* 1 na fileira central, L2 indica a localização do *Data Logger* 2 na fileira central e assim sucessivamente.

Determinar a distribuição espacial da temperatura, umidade relativa e IEC da fileira central da carga com a utilização dos *Data Logger*, foi de fundamental importância, pois de acordo com Barbosa Filho (2008), a fileira central apresenta os piores valores de temperatura, umidade relativa e IEC. A geoestatística foi utilizada, pois tem

como principal objetivo a caracterização das variáveis de interesse (temperatura, umidade relativa e IEC), por meio do estudo de suas distribuições e variabilidade espaciais, com determinação de suas incertezas associadas (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Para mapear a variabilidade espacial, utilizou-se a técnica de Krigagem, a fim de estimar os valores de propriedades espacialmente distribuídas. Com a Krigagem, a estimativa de valores locais não amostrados possibilita criar um mapa da área em estudo (VIEIRA, 2000).

As formas mais usuais são a Krigagem simples e a Krigagem ordinária e, entre os métodos não lineares, destaca-se a Krigagem indicativa. A Krigagem simples é utilizada quando a média é assumida como estatisticamente constante para toda a área. A Krigagem ordinária, por sua vez, considera a média flutuante ou móvel por toda a área. A Krigagem indicativa consiste basicamente na aplicação da Krigagem ordinária para a variável transformada (LANDIM; STURARO, 2002).

Para a construção dos mapas de Krigagem da temperatura, umidade relativa e IEC, nesta pesquisa, foi considerada a média flutuante ou móvel por toda a área. Para a construção dos gráficos de isolinhas e dos gráficos 3D, foram utilizados os dados de localização espacial (x,y) dos *Data Logger* instalados ao longo da fileira central (Figura 3.6) e seus valores médios de temperatura, umidade relativa e IEC (z) durante a etapa de avaliação do molhamento da carga. Como apresentado pela Figura 14.

Onde:

- (x) corresponde à localização horizontal do *Data Logger* em centímetros ao longo da fileira central da carga. A origem da posição horizontal (x) corresponde ao centro da primeira próxima a cabine do caminhão.

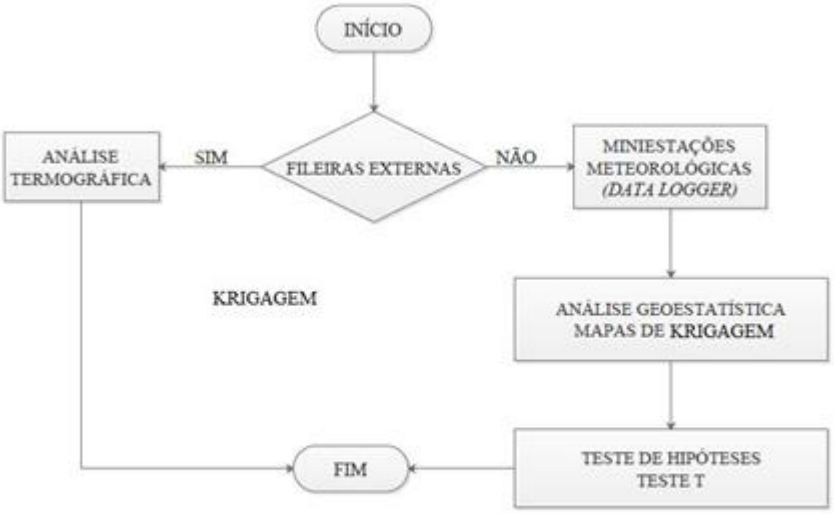
- (y) corresponde a localização vertical do *Data Logger* em centímetros ao longo da fileira central da carga. A origem d aposição vertical (y) corresponde ao centro da primeira caixa próxima a cabine do caminhão e piso da corroceria.

- (z) corresponde ao valor das médias das variáveis em estudo (temperatura, umidade relativa e IEC).

As análises exploratórias e modelos de regressão foram realizadas com o *software* R (R Core Team, 2014). Para a análise da variabilidade espacial por semivariograma, modelagem do semivariograma e elaboração dos mapas de Krigagem e dos gráficos 3D foi utilizado o *software* SURFER™ versão 8.0 (2002).

De forma resumida, a análise térmica para o mapeamento da distribuição da temperatura, umidade relativa e do Índice Entalpia de Conforto (IEC) da carga de frango vivo com seis semanas de vida durante a operação de transporte foi realizada conforme a Figura 15.

Figura 15 – Análises realizadas na carga para determinação da eficiência do molhamento na redução do estresse térmico.

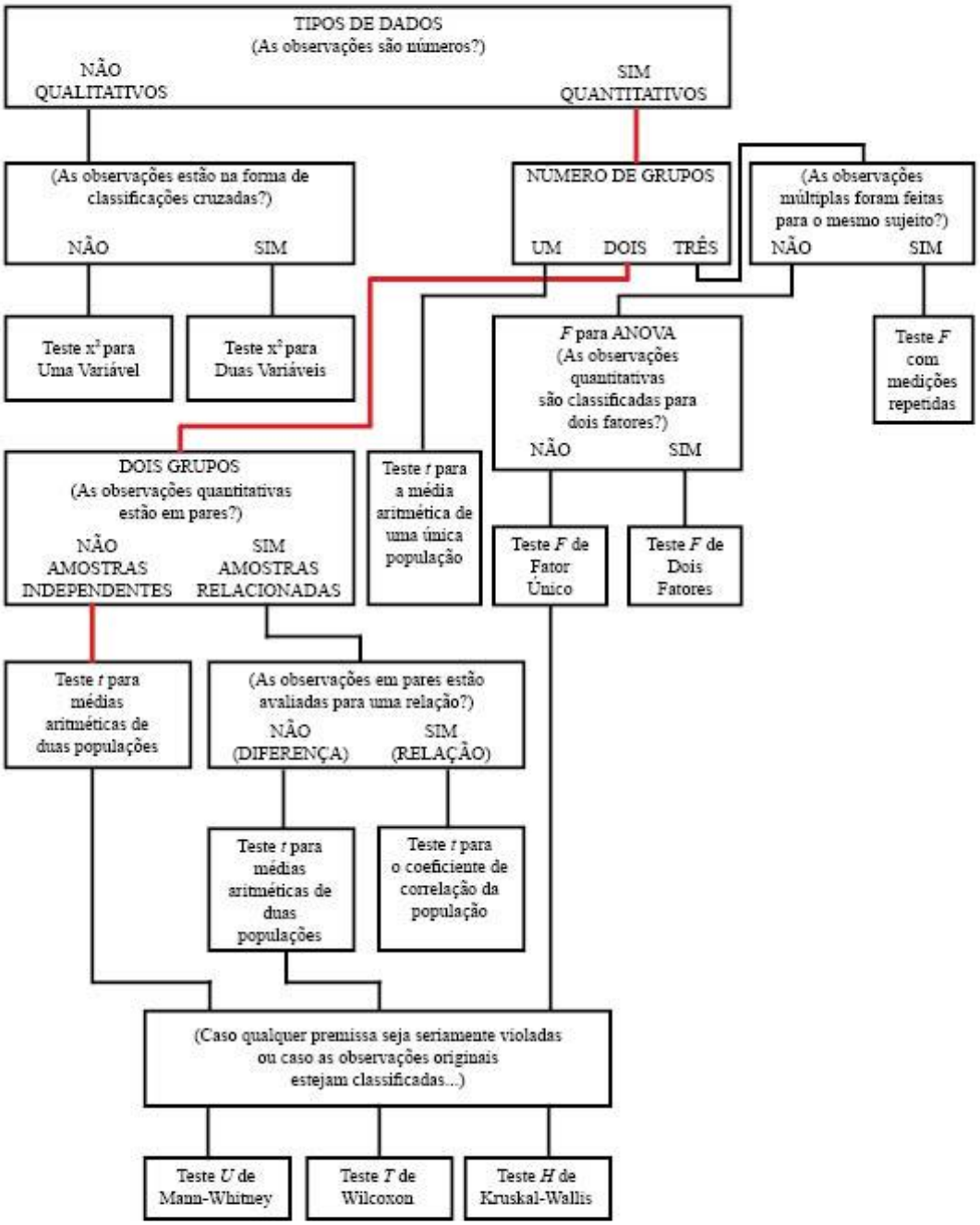


Fonte: Elaborado pelo autor.

Dando continuidade à análise estatística da fileira central e buscando respon hipótese dessa pesquisa, fez-se uso de teste de significância para determinar se haveria diferença significativa entre molhar e não molhar a carga. Utilizou-se o teste de hipóteses e não a análise de variança, por se tratar da análise de somente dois parâmetros, molhado e seco, e por ser um teste mais simples, conforme a Figura 16.

O teste de hipóteses t foi o escolhido, uma vez que os valores amostrais apresentaram uma distribuição normal e nenhuma informação sobre o desvio padrão populacional foi obtida, e a probabilidade máxima permissível para se cometer o erro do tipo I adotada foi de 5%. O erro tipo I ocorre se a hipótese nula for rejeitada quando é verdadeira.

Figura 16 – Diretrizes para decisão sobre o teste de hipóteses a ser utilizado. O caminho em vermelho foi a diretriz utilizada nesta pesquisa.

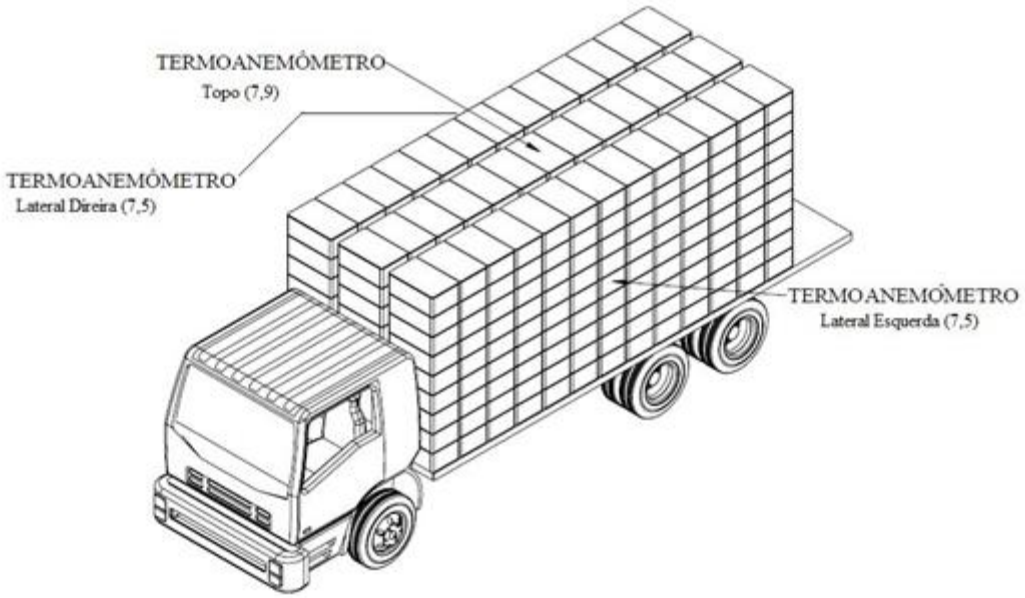


Fonte: Witte, Witte e de Souza (2005). Modificado pelo autor.

3.5 Monitoramento da sensação térmica

Durante o transporte das aves até abatedouro, foi medida a velocidade e temperatura do vento nas laterais esquerda, direita e topo da carga, para avaliar o fluxo de ar e a sensação térmica durante o percurso. Para análise da sensação térmica, foram instalados na carga três termoanemômetros, como mostra a Figura 17, que registravam a cada minuto a temperatura e velocidade do vento.

Figura 17 – Localização da instalação dos termoanemômetros para determinação térmica durante o transporte.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para indicar a localização dos termoanemômetros na carga, utilizou-se o sistema cartesiano (x,y) de coordenadas, onde (x) indica a coluna de caixas na direção horizontal a partir da cabine do caminhão, e (y) indica a caixa na posição vertical a partir do piso da carroceria do caminhão. Assim, os termoanemômetros foram instalados nas seguintes caixas:

- Lateral direita da carga: (7,5) quinta caixa da sétima coluna.

- Lateral esquerda da carga: (7,5) quinta caixa da sétima coluna.

-Topo da carga: (7,9) nona caixa da sétima coluna da fileira central.

Devido à falta de uma equação que informe a verdadeira sensação térmica sentida pelas aves, utilizou-se a temperatura equivalente de *Wind Chill* ou *Wind Chill Temperature* (TWC), utilizada pela ASHRAE (1997) para medir a temperatura que a pessoa sente quando exposta às intempéries sob uma convecção forçada, dada pela equação 10. O TWC é amplamente utilizado nas estudos de climatização e refrigeração.

$$TWC = 33 + \left(10\sqrt{V} + 10{,}45 - V\right)\frac{t - 33}{22} \qquad (10)$$

Onde:

TWC é a temperatura equivalente de *Wind Chill*,°C;

V é a velocidade do vento em km/h;

t é a temperatura do vento em °C.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Tomou-se como base a análise quantitativa do ambiente e a avaliação qualitativa dos termogramas das laterais, topo e parte traseira da carga. Para a fileira central da carga, utilizou-se a análise estatística com o uso de gráficos, geoestatística e teste de comparação de médias, a fim de responder à hipótese central desta pesquisa.

4.1 Caracterização ambiental com molhamento

Foram utilizadas miniestações metereológicas para a caracterização climática dos seguintes ambientes:

1. Galpão de criação.
2. Ambiente externo ao galpão de criação (carregamento).
3. Descarregamento (Área 1).
4. Ambiente externo à área de descarregamento (Área 2).

Em cada ambiente foi instalado uma miniestação metereológica (*Data Logger*), que registrava minuto a minuto a temperatura e a umidade relativa do ambiente durante cada operação, conforme Barbosa Filho (2008).

O resumo das médias referentes à temperatura e umidade relativa são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Caracterização ambiental dos ambientes (interno e externo) das médias da temperatura (T. °C) e umidade relativa (UR. %) durante as operações pré-abate com o molhamento da carga.

	Galpão		Carregamento		Área 1		Área 2	
Carga	T	UR	T	UR	T	UR	T	UR
1	23,0	85	23,2	72	23,7	82	23,2	72
2	24,9	88	24,4	75	25,1	88	24,9	77
3	23,6	85	23,0	76	24,0	92	24,0	76
4	25,1	88	20,3	77	24,5	89	22,5	78

Fonte: Elaborado pelo autor.

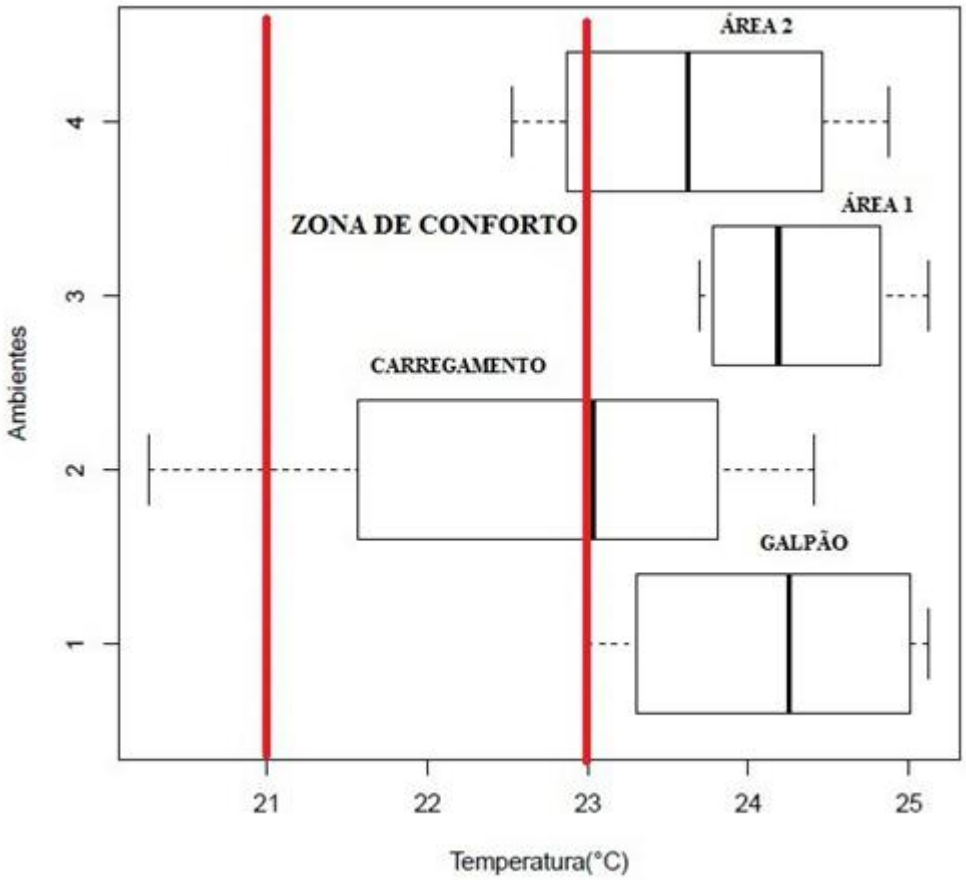
A Figura 18 apresenta o *boxplot* da distribuição de temperaturas da Tabela 4.1, em que os números 1, 2, 3 e 4 representam os seguintes ambientes, respectivamente: galpão de criação, carregamento, área de descarregamento (Área 1) e ambiente externo ao descarregamento (Área 2). As linhas verticais em vermelho correspondem às médias

de temperatura de conforto térmico (21 °C a 23 °C), segundo Macari, Furlan e Silva (2001). Adotou-se esses limites, pois serviram de referência para a construção da Tabelas de Entalpia referente a frangos de corte na sexta semana de vida, conforme Queiroz, Barbosa Filho e Vieira (2012).

A análise da Figura 18 mostrou que o galpão de criação (1) e a área de descarregamento (3) apresentaram a pior distribuição de médias de temperatura, com seus valores acima do limite máximo de temperatura de conforto. Ambos os ambientes possuiam ventiladores e nebulizadores, porém, como indicado pelo *boxplot* (Figura 4.1), falta um sistema de controle eficiente que garanta o monitoramento e correção para que a temperatura se estabilize dentro da zona de conforto.

A área de carregamento (2) apresentou a maioria dos seus valores de temperatura dentro da área de conforto em virtude do horário do início das atividades de carregamento. Entretanto, com o decorrer da operação de carregamento, a temperatura subiu, em virtude da radiação solar (Figura 18). Como forma de amenizar o estresse devido ao aumento da insolação, seria de suma importância construir uma estrutura para proteger o caminhão da radiação solar e instalar um sistema de ventilação forçada para dissipação do calor. Análise semelhante pode ser feita para o ambiente externo à área de descarregamento (Área 2).

Figura 18 – *Boxplot* da temperatura média dos ambientes (externo e interno) durante as operações de carregamento, descarregamento com o molhamento da carga



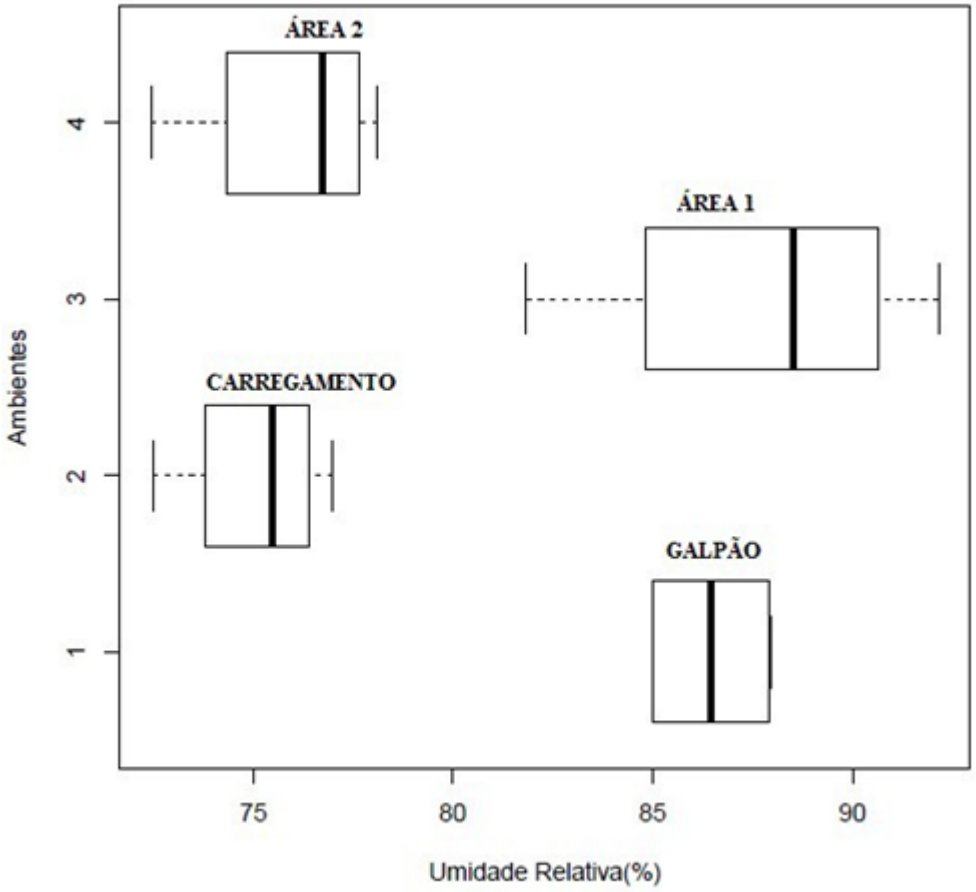
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda segundo Macari, Furlan e Silva (2001), a faixa de conforto da umidade relativa para as aves se encontra entre os valores de 65 e 70%, um intervalo bastante pequeno que mostra como a umidade relativa é representativa na avaliação do conforto térmico.

A Figura 19 apresenta o *boxplot* da distribuição da umidade relativa da Tabela 4.1, em que os números 1, 2, 3 e 4 representam os seguintes ambientes: galpão de criação, carregamento, área de descarregamento (Á rea 1) e ambiente externo ao descarregamento (Área 2), respectivamente.

A análise da Figura 19 mostrou que, em todos os ambientes, a umidade relativa se apresentava fora da zona de conforto. Assim como na análise referente à temperatura ambiente, os ambientes com pior distribuição continuaram sendo o galpão de criação (1) e a área de descarregamento (3), em função da falta de controle dos ventiladores e nebulizadores que existiam no local, além do excesso de umidade da cama.

Figura 19 – *Boxplot* da umidade relativa média dos ambientes (externo e interno) durante as operações de carregamento, descarregamento com o molhamento da carga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta análise preliminar mostrou que as aves, mesmo com o molhamento as aves continuaram sob condição de estresse térmico e que medidas de controle mais eficientes se fazem necessárias.

A Tabela 7 apresenta as médias do IEC referentes ao galpão de criação, área de carregamento, área de descarregamento (Área 1) e ambiente externo ao descarregamento (Área 2).

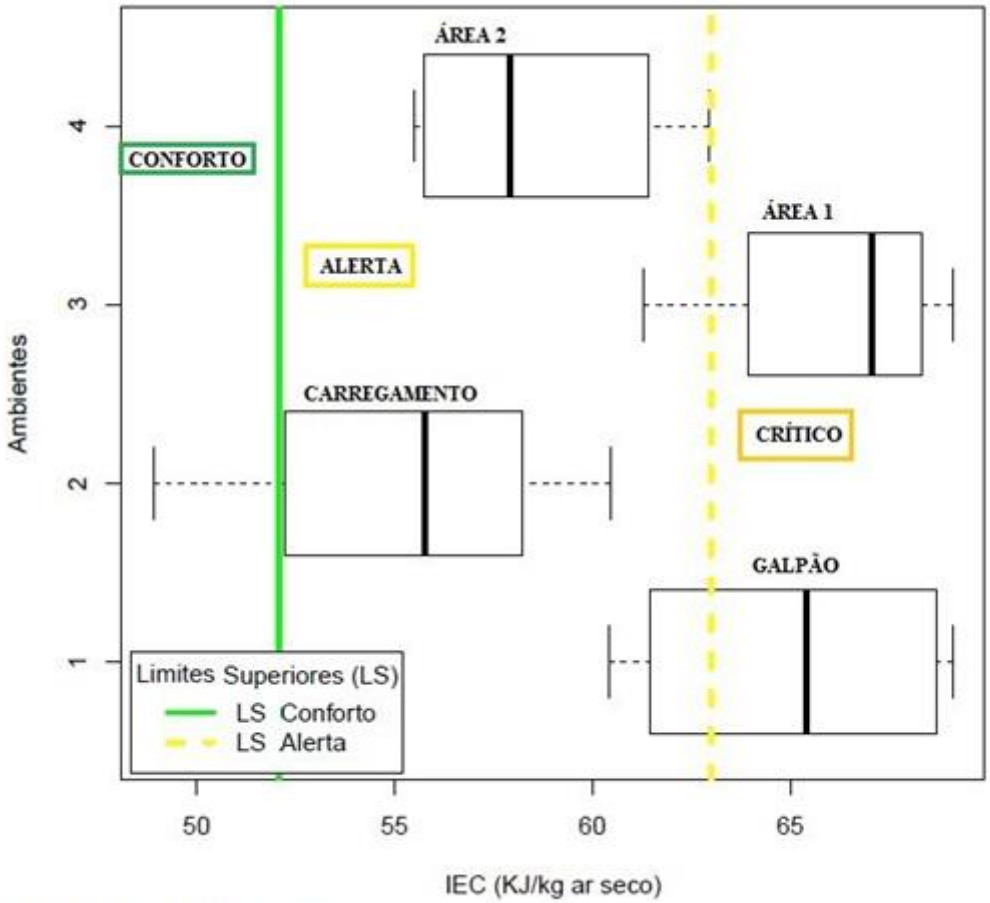
Tabela 7 – Caracterização ambiental do IEC com o molhamento.

Carga	IEC (KJ/kg de ar seco)			
	Galpão	Carregamento	Área 1	Área 2
1	60,42	55,53	61,30	55,51
2	68,34	60,46	69,10	62,95
3	62,47	56,02	66,57	59,85
4	69,10	48,92	67,60	55,96

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 ratificou a situação de estresse térmico do galpão de criação (1) e da área de descarregamento (3), pois apresentaram seus valores médios de IEC acima do limite superior da região de alerta (52,2 - 63,0 KJ/kg de ar seco). Ressalta-se que as coletas de dados de temperatura e umidade relativa aconteceram no período da manhã (4h30min às 8h), e que os valores indicaram que medidas corretivas deveriam ser providenciadas, pois a probabilidade de perdas tendem a aumentar com o aumento da temperatura e variação da umidade relativa durante o decorrer do dia.

Figura 20 – *Boxplot* das médias do Indice Entalpia de Conforto(IEC) dos ambientes (externo e interno) durante as operações de carregamento, descarregamento com o molhamento da carga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

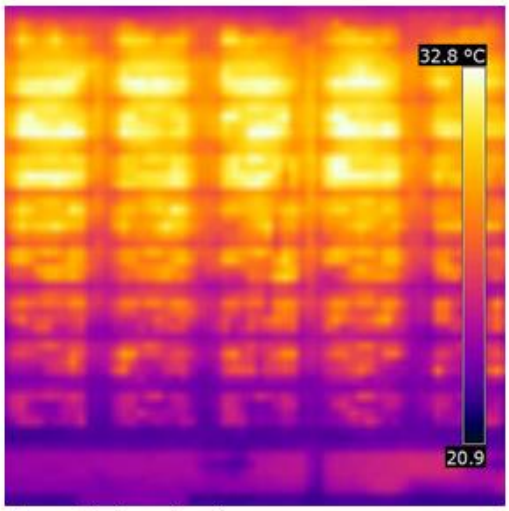
4.1.1 Análise termográfica com molhamento

As Figuras 21 e 22 apresentam os termogramas das laterais direita e esquerda, respectivamente, antes de iniciar o molhamento da carga. Os termogramas possuíam as seguintes características: temperatura refletida de 33 °C, umidade relativa de 82%, emissividade de 0,98, temperatura atmosférica média de 20 °C e distância do objeto 1,5m.

A análise dos termogramas apresentaram nitidamente a elevada quantidade de energia liberada pelas as aves no interior das caixas. Observou-se uma variação média de temperatura de 32 °C (máxima) e 20 °C (mínima). Esses valores estariam fora dos limites de conforto térmico (21 - 23 °C) para a produção de frangos de corte na sexta semana de vida.

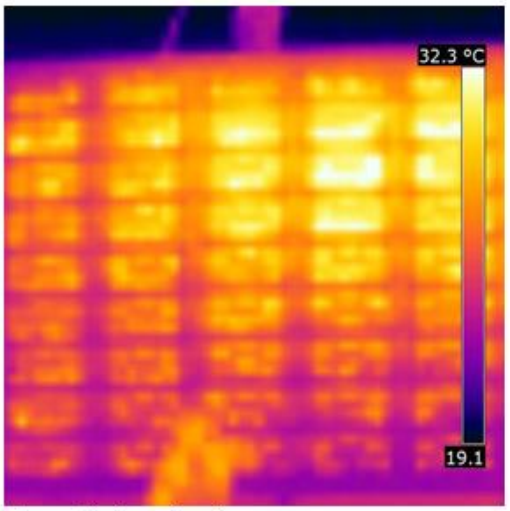
Como observado, a tecnologia infravermelha, se usada de forma correta, gerou um diagnóstico rápido e, até certo ponto, preciso, tornando-se uma ferramenta impor- tante para o projeto e controle de ambientes menos estressantes.

Figura 21 – Lateral direita antes do molhamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

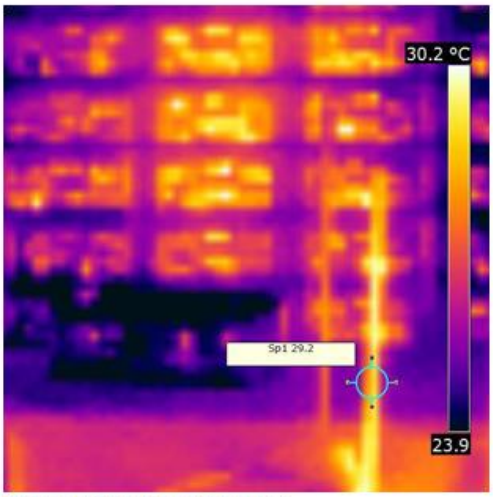
Figura 22 – Lateral esquerda antes do molhamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

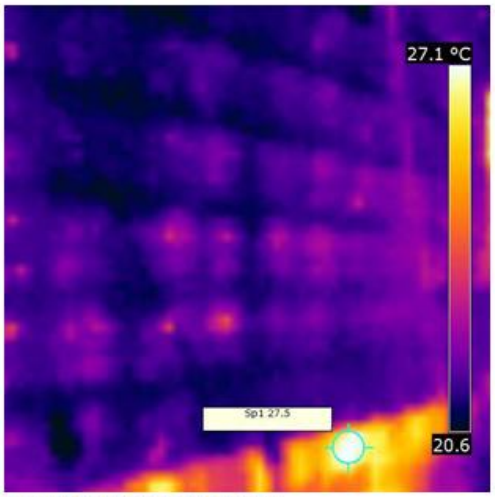
As Figura 23 e 24 apresentam a lateral esquerda do caminhão durante o período de molhamento e após o molhamento da carga, respectivamente. Observou-se claramente o escoamento da água entre as caixas e o aumento de sua temperatura, uma vez que a água utilizada no molhamento apresentava temperatura inicial de 19 °C. A marcação SP1 representa a temperatura da água após a troca térmica com as aves dentro das caixas, em que a média da temperatura apresentou-se em torno de 28,5 °C.

Figura 23 – Lateral esquerda durante o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 – Lateral esquerda logo após o molhamento



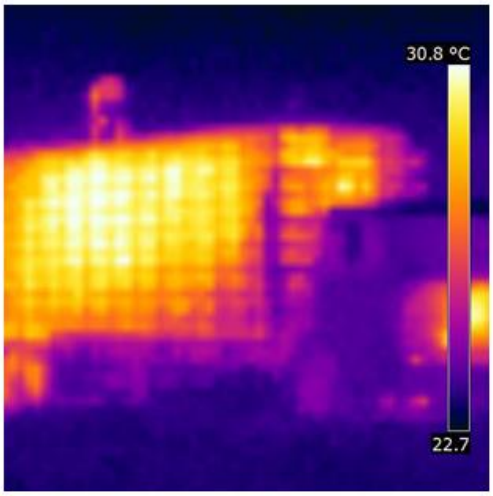
Fonte: Elaborado pelo autor.

Estimou-se a quantidade de calor transferida por convecção (equação 4) para uma fileira vertical (9 caixas) e foi utilizado como parâmetro: A (área total de 9 caixas)

= 9.2.(56 cm x 76 cm) + 2.(56 cm x 32 cm) + 2.(76 cm x 32 cm) = 152.640 cm^2 = 15,26 m^2; h (coeficiente de película)= 50 $W/m^2.K$, foi utilizado o limite mínimo do intervalo da Tabela 2.2; T_s (temperatura interna média da caixa) = 32 °C (utilizou-se a pior situação) e T_∞ (temperatura inícial da água) = 19 °C. Assim, obteve-se uma taxa de transferência de 9.919 W (J/s), que equivale a potência média de 10.000 lâmpadas incandescentes de 100 W ou à potência média de 10 ferros elétricos domésticos de passar roupas. Logo, estimou-se que a taxa de transferência de calor de cada caixa foi de 1.000 W.

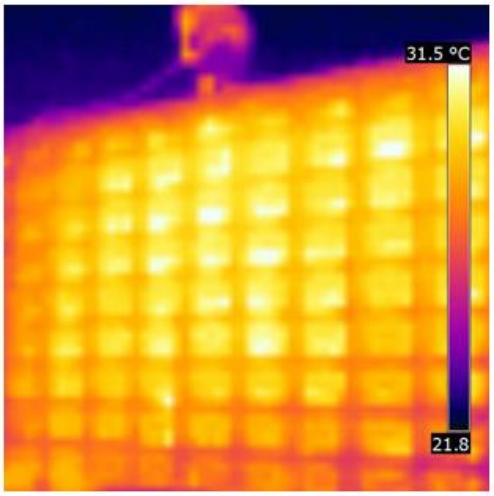
Após o molhamento, observou-se uma queda da temperatura (Figura 24) com média de temperatura de 22,5°C, mantendo-se dentro da faixa de conforto de temperatura para frangos de corte na sexta semana de vida.

Figura 25 – Foto panorâmica da carga 10 minutos após o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 – Lateral esquerda 10 minutos após o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dez minutos após o molhamento, observou-se, pela análise dos termogramas das Figuras 25 e 26, que a temperatura da carga voltou a se estabilizar no intervalo de 25 °C a 32 °C, o que levou a concluir que a eficiência do molhamento em diminuir a temperatura foi momentânea, ou seja, as aves sentiram alívio somente enquanto durou o molhamento.

Resultados semelhantes foram encontrados para a lateral direita, topo e parte traseira da carga.

4.1.2 Análise geoestatística com molhamento

A termografia, até este ponto, apresentou-se como uma ferramenta de análise rápida. Porém não foi possível fotografar a fileira central da carga.

Como solução, recorreu-se aos métodos de geoestatística. Mapas de Krigagem foram construídos para determinar a distribuição espacial da temperatura, umidade relativa e IEC ao longo da fileira central da carga durante o transporte, para apresentar os pontos críticos, como locais de concentração de temperatura e umidade relativa, que contribuem para o aumento da energia interna do microclima das caixas.

A Tabela 8 apresenta as coordenadas de localização dos 18 *Data Logger* ao longo da fileira central e os valores das médias das temperaturas, umidade relativa e IEC referentes às observações do molhamento da carga para a construção dos gráficos de Krigagem.

Tabela 8 – Dados para a construção dos mapas de Krigagem para o molhamento

Data Logger	x (cm)	y (cm)	T (°C)	UR (%)	IEC (KJ/kg de ar seco)
L1	28	0	26,4	96	78,2
L2	28	96	26,6	96	79,3
L3	28	192	28,0	96	85,2
L4	140	0	28,5	96	87,6
L5	140	96	29,6	96	92,4
L6	140	192	29,5	96	92,0
L7	252	0	28,4	96	87,0
L8	252	96	28,3	92	84,1
L9	252	192	28,6	96	87,7
L19	364	0	29,2	96	90,3
L11	364	96	28,3	96	86,3
L12	364	192	28,8	96	88,6
L13	476	0	27,0	96	85,0
L14	476	96	28,0	96	85,0
L15	476	192	27,8	96	84,4
L16	588	0	27,1	96	81,7
L17	588	96	28,2	95	85,8
L18	588	192	28,0	96	85,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a coleta dos dados, o primeiro passo para a construção dos mapas de Krigagem foi a determinação do modelo de regressão a ser utilizado. As análises dos modelos de regressão foram realizadas com o uso do software R Core Team (2014) com os dados coletados pelas miniestações metereológicas distribuídas ao longo da fileira central da carga durante o molhamento.

Os modelos estudados foram os seguintes: espacial, exponencial, esférico e gaussiano. O modelo para a construção dos mapas de Krigagem obedeceu às seguintes suposições:

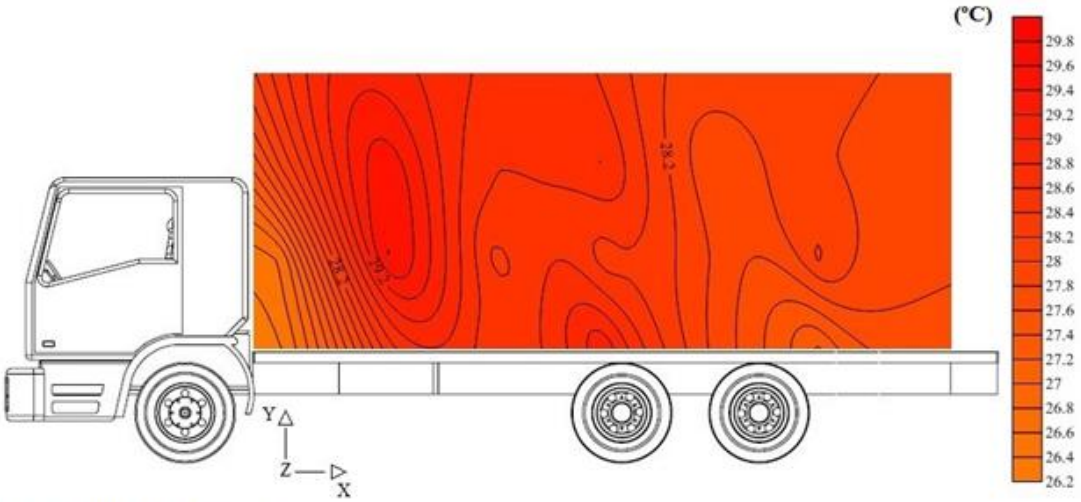
a) Os resíduos normalmente distribuídos.
b) A média dos resíduos igual a zero.
c) A variância constante.
d) Os resíduos independentes.

A análise apontou que, para todas as variáveis (temperatura, umidade relativa e IEC) em relação à localização na carga (dependência espacial), o melhor modelo foi o linear.

Após a determinação do modelo, prodeceu-se a interpolação dos valores para a elaboração dos mapas, que foi feita aplicando o método de Krigagem ordinária, utilizando o software SURFER™ versão 8.0 (2002) para a construção dos perfis.

A Figura 27 apresenta a distribuição espacial da temperatura durante o carregamento e transporte com o molhamento da carga.

Figura 27 – Perfil das médias da temperatura ao longo da fileira central da carga com o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

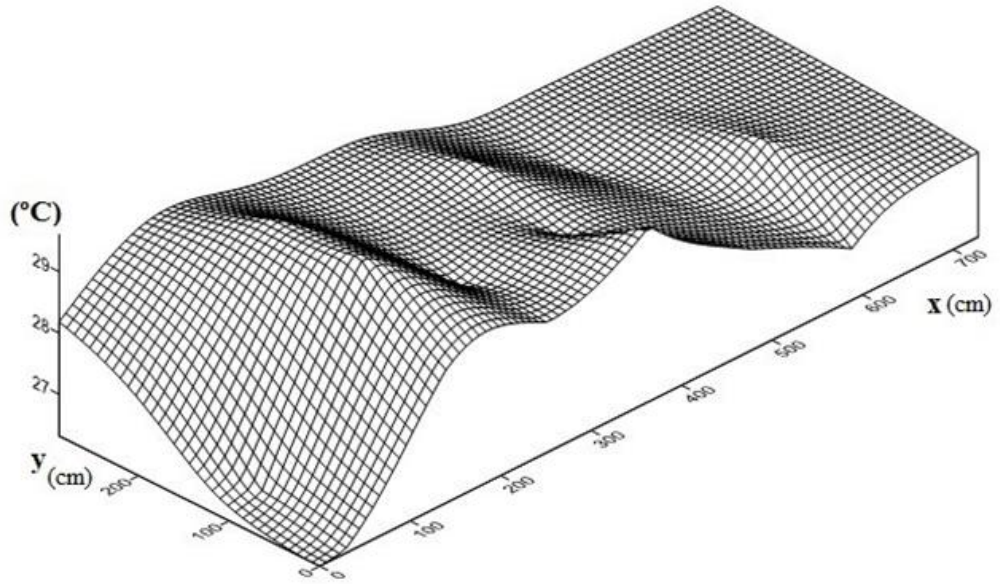
Observou-se que as primeiras caixas apresentavam a maior concentração de temperaturas com média em torno de 30 °C e que a maioria das caixas ao longo da fileira central possuíam uma média de temperatura de 28 °C.

Além do mapa de isolinhas, optou-se pelo uso da representação tridimensional das variáveis (temperatura, umidade relativa e IEC) ao longo da fileira central da carga por facitar a visualização dos pontos extremos (Figura 28).

O gráfico utilizou o sistema isométrico (x,y,z) onde: x representa a distância horizontal do *Data Logger* em centímetros ao longo da fileira central; y representa a distância vertical do *Data Logger* em centímetros ao longo da fileira central e z representa o valor absoluto das média da temperatura, umidade relativa e IEC.

A temperatura ao longo da fileira central da carga apresentou uma distribuição irregular e que o ponto de menor temperatura se concentrou nas primeiras caixas próximas à cabine do caminhão. Essa irregularidade na distribuição espacial da temperatura confirma que durante a prática do molhamento as caixas não recebiam a mesma quantidade de água.

Figura 28 – Distribuição espacial das médias da temperatura ao longo da fileira central com o molhamento

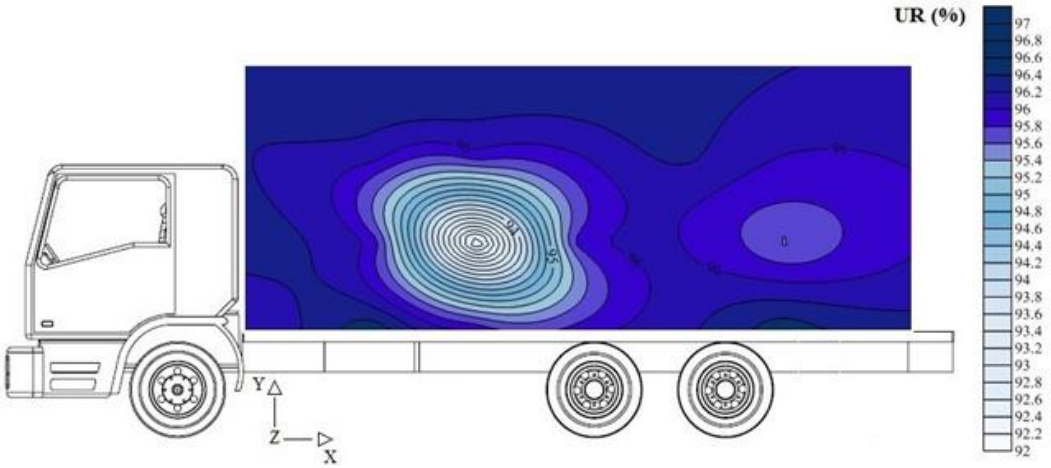


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 29 apresenta a distribuição espacial da umidade relativa ao longo da fileira central durante o carregamento e transporte. Embora os valores de umidade relativa sejam altos, a análise mostrou pontos de depressão.

Como observado pela Figura 29 apresenta uma região próxima do centro da fileira central com valor de 92 %, o que indica que a falta de metodologia utilizado na prática do molhamento não garante que todas as caixas recebam a mesma quantidade de água.

Figura 29 – Perfil das médias da umidade relativa ao longo da fileira central da carga com o



Fonte: Elaborado pelo autor.

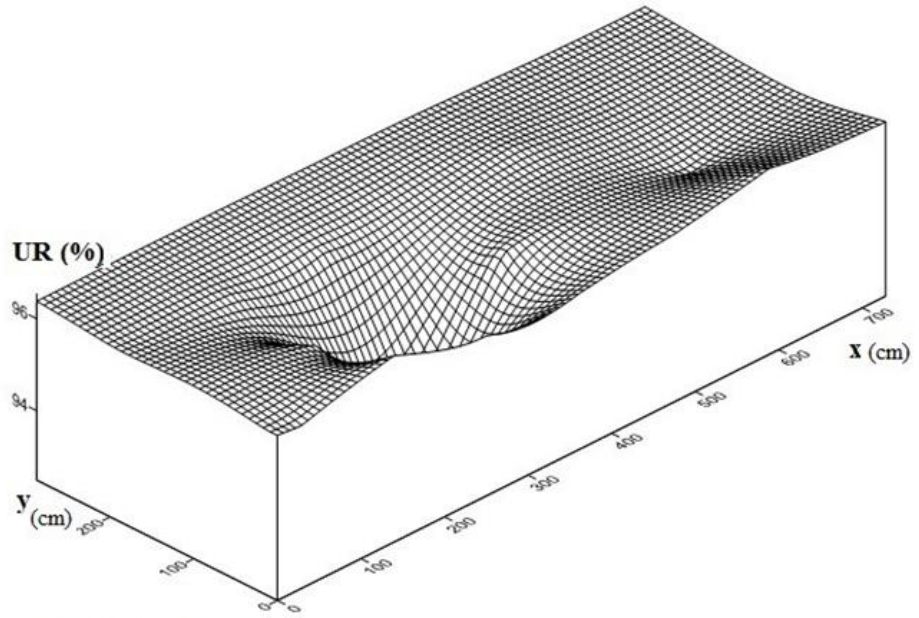
molhamento

Ao longo da fileira central todos os valores de umidade relativa estavam fora da zona de conforto, com valores acima de 90%, o que ocasionou a supersaturação por vapor de água do microambiente, que aliado a valores de temperatura acima de 23 °C gerou um ambiente nocivo para as aves.

Pelos valores apresentados, a fileira central se apresentou como uma região crítica para as aves.

A localização dos pontos de depressão de umidade relativa podem ser melhor visualizados com a ajuda da Figura 30.

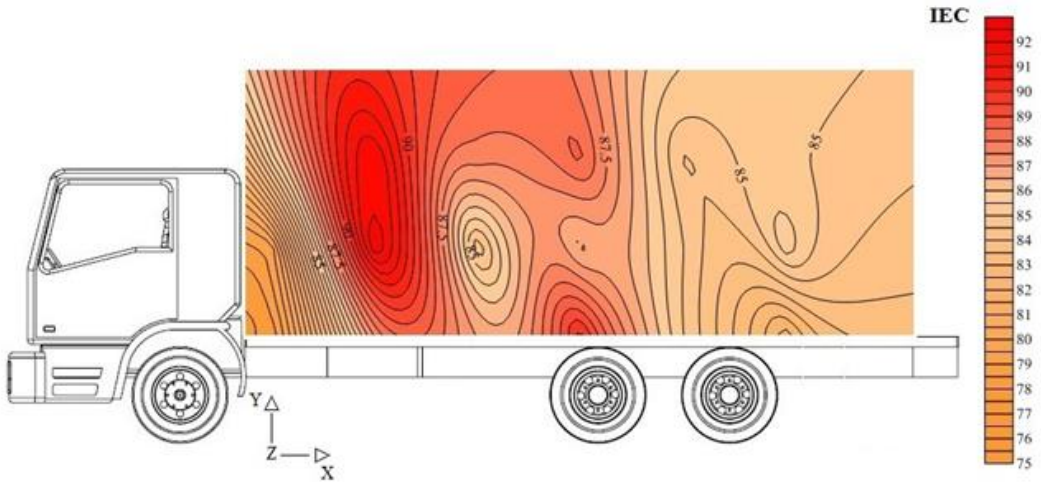
Figura 30 – Distribuição espacial das médias da umidade relativa ao longo da fileira central da carga com o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 31 apresenta a distribuição espacial do IEC. A distribuição mostrou que ao longo da carga os valores apresentaram uma distribuição irregular com pontos de máxima concentração entre o início e meio da fileira central.

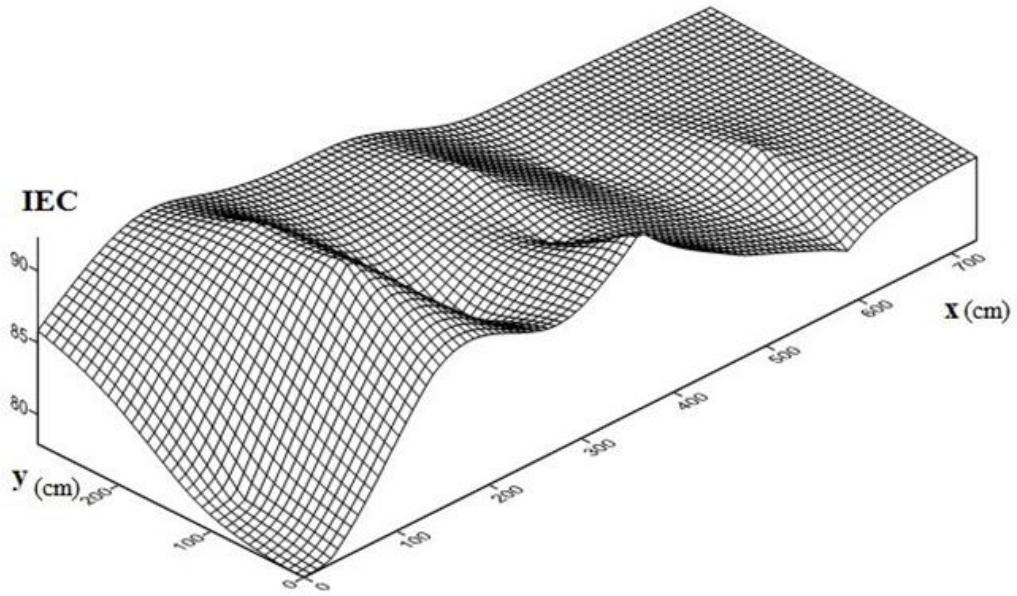
Figura 31 – Perfil das médias do IEC ao longo da fileira central da carga com o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A localização dos pontos de máximo valor de IEC podem ser melhor visualizados com a ajuda da Figura 32, que indicou uma área de tamanho significativa com valores dentro do intervalo (87 a 92 kJ/kg de ar seco), que pela Tabela de Entalpia para frangos de corte na sexta semana de vida estavam dentro da zona de letalidade.

Figura 32 – Distribuição espacial das médias do IEC ao longo da fileira central da carga com o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise feita até o momento mostrou uma situação de desconforto térmico causado pelo molhamento da carga, de acordo com a análise geoestatística. Outro ponto importante observado foi que a fileira central apresentou os valores mais elevados de IEC se comparado com as laterais da carga, como comprovado por Barbosa Filho (2008), o que indicou que as aves que viajavam na fileira central da carga possuíam uma maior probabilidade de morte durante a viagem, ou seja, uma maior probabilidade de morte na chegada ou *dead on arrivals* (DOA´S).

Os resultados corroboraram com as conclusões de Hunter, Mitchell e Matheu (2001) e Barbosa Filho (2008), que a pior situação de desconforto se localiza na parte central e traseira da carga, que contribui com o aumento da probabilidade de morte das aves.

Nesta pesquisa só foi possível verificar os aspectos ambientais referentes às área de pré-abate (captura, carregamento e descarregamento) e ao microclima da carga, durante a operação de carregamento e transporte, pois devido à logística da empresa não foi possível contabilizar a quantidade de aves mortas durante o transporte (DOA´s) e rela cioná-las com a prática do molhamento. Entretanto, a empresa apresentou uma estatística com baixos valores de mortalidade de aves antes do início do abate, o que levou a crer que o horário escolhido para o transporte e a distância até o abatedouro seriam os fatores decisivos para esses baixos números.

4.2 Caracterização ambiental sem o molhamento

A análise da operação de transporte sem realizar o molhamento da carga aconteceu no período de dezembro de 2014, em que foram realizadas as mesmas análises para a avaliação do molhamento. Assim, a Tabela 9 resume as médias da temperatura e umidade relativa para a caracterização climática do galpão de criação, do ambiente externo ao galpão de criação (carregamento), descarregamento (Área 1), bem como do ambiente externo ao descarregamento (Área 2).

Tabela 9 – Caracterização ambiental dos ambientes (interno e externo) das médias da temperatura (T. °C) e umidade relativa (UR. %) durante as operações pré-abate sem o molhamento da carga

	Galpão		Carregamento		Área 1		Área 2	
Carga	T	UR	T	UR	T	UR	T	UR
1	27,0	71	27,7	70	27,0	72	27,2	72
2	26,0	64	25,0	65	27,0	64	26,1	66
3	29,0	75	28,6	76	29.3	76	28,5	77
4	26,3	63	26,5	65	26,4	67	27,0	67

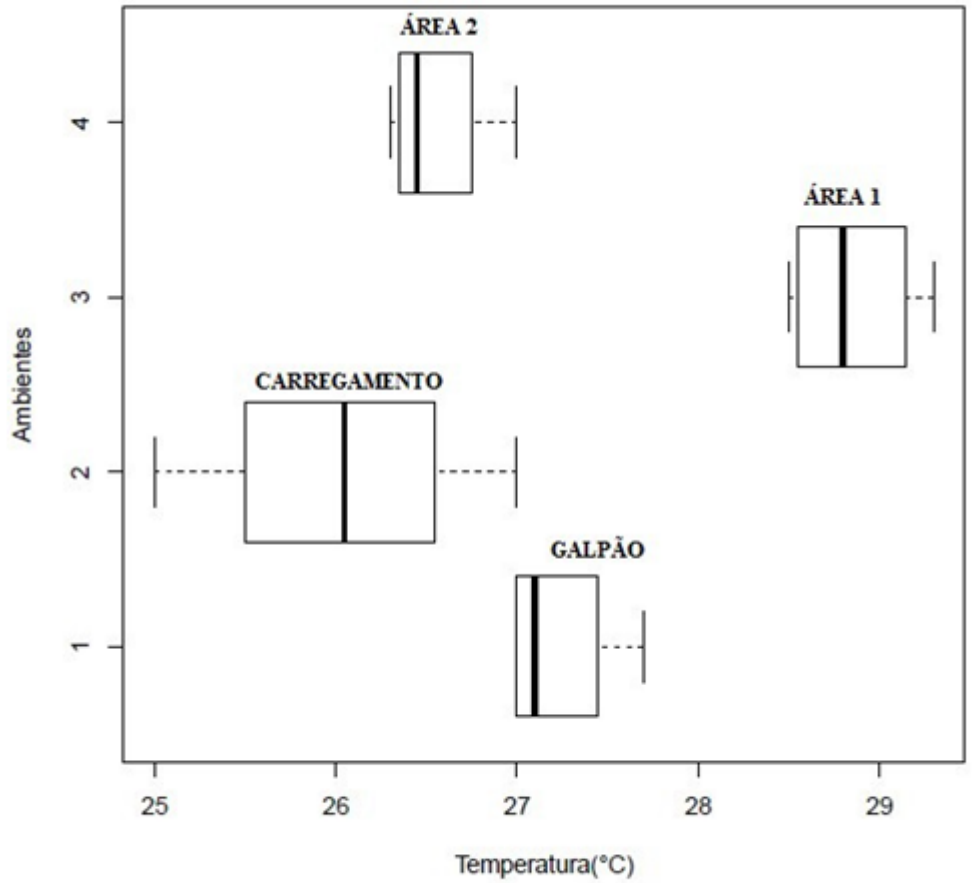
Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os valores das médias de temperatura da Tabela 9 com a Tabela 6, observou-se que as temperaturas referentes a esta etapa do experimento foram mais elevadas.

A Figura 33 apresenta o *boxplot* referente às médias de temperaturas dos ambientes internos e externos, durante as observações sem o molhamento da carga. Assim como no molhamento, os números 1, 2, 3 e 4 representam os seguintes ambientes, respectivamente: galpão de criação, carregamento, área de descarregamento (Área 1) e ambiente externo ao descarregamento (Área 2).

A análise do *boxplot* da Figura 4.16 mostrou que todos os ambientes analisados estavam fora do limite de conforto térmico (21 - 23 °C) para a variável temperatura para frangos na sexta semana de vida, ou seja, todos os ambientes causariam estresse térmico. Assim, como no molhamento, os ambientes relativos ao galpão de criação e área de descarregamento apresentaram a pior situação e necessitariam de medidas corretivas urgentes.

Figura 33 – *Boxplot* das temperaturas médias dos ambi- entes (externo e interno) durante as operações de carrega- mento, descarregamento realizadas sem o molhamento da carga

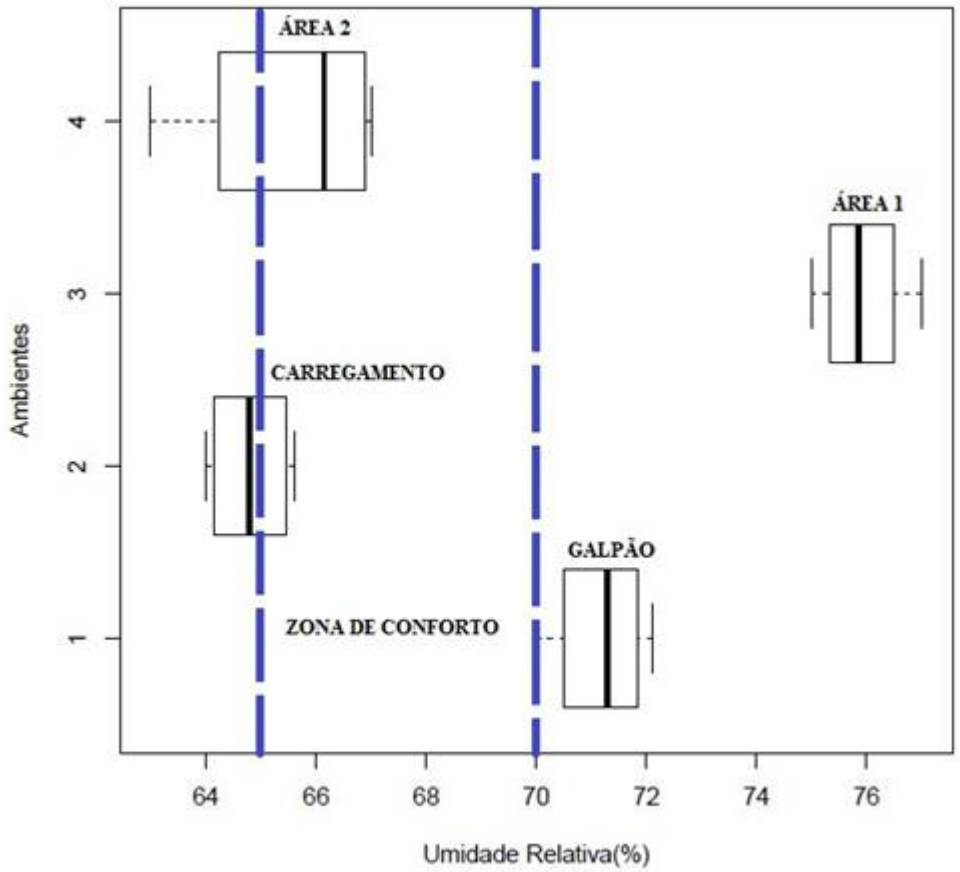


Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os valores das Tabelas 6 e 9, observou-se que os valores da umidade relativa sem o molhamento apresentaram valores mais baixos e com ambientes dentro da faixa de conforto. Assim como no molhamento, os ambientes mais estressantes continuaram sendo o galpão de criação e a área de descarregamento.

A Figura 34 representa o *boxplot* da distribuição da umidade relativa. Assim como no molhamento os números 1, 2, 3 e 4 representam os seguintes ambientes, respectivamente: galpão de criação, carregamento, área de descarregamento (Área 1) e ambiente externo ao descarregamento (Área 2).

Figura 34 – *Boxplot* da umidade relativa média dos am- bientes (externo e interno) durante as operações de carrega- mento, descarregamento realizadas sem o molhamento da carga.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A união das variáveis temperatura, umidade relativa e pressão barométrica deu origem ao IEC, que se resume na Tabela 10.

Tabela 10 – Caracterização ambiental do IEC sem o molhamento.

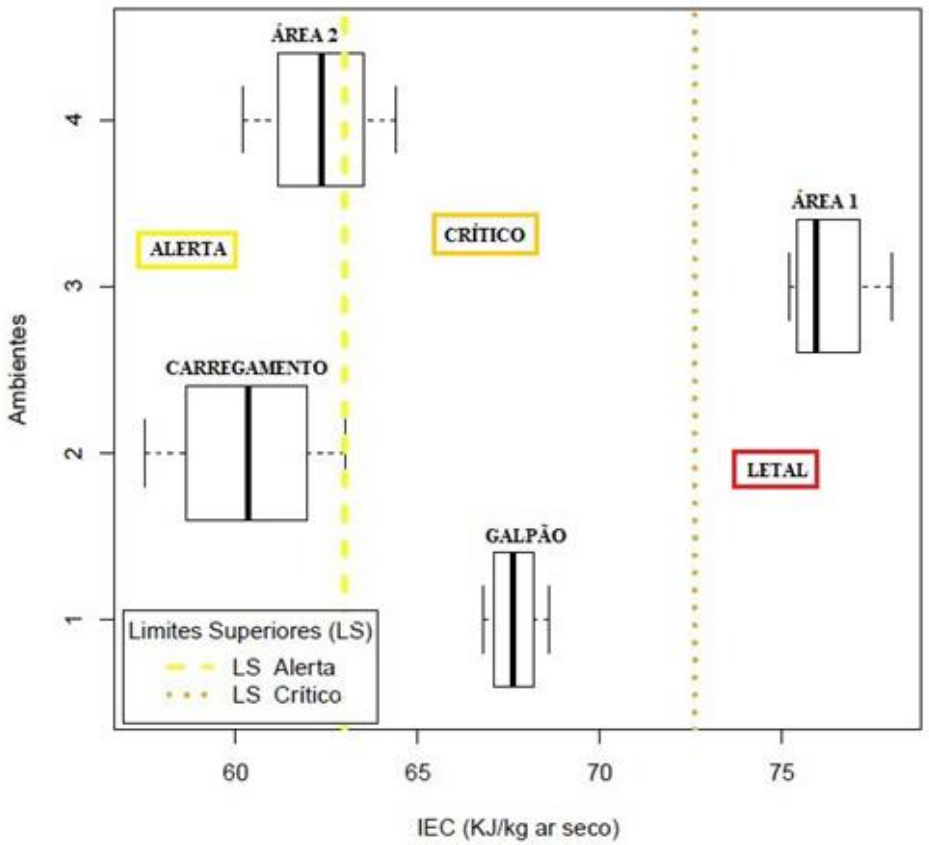
Carga	IEC (KJ/kg de ar seco)			
	Galpão	Carregamento	Área 1	Área 2
1	66,8	59,8	76,3	60,2
2	68,6	57,5	75,2	62,1
3	67,4	63,0	78,0	62,6
4	67,8	60,9	75,6	64,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os valores do IEC dos ambientes com e sem o molhamento, observou-se que os ambientes com o molhamento da carga obtiveram os menores valores, conforme apresentado nas Tabelas 7 e 10.

A Figura 35 representa o *boxplot* das médias do IEC dos ambientes internos e externos durante as observações sem o molhamento. Assim como nas observações da caracterização ambiental com o molhamento, os resultados continuaram apontando problemas de estresse térmico no galpão de criação e na área de descarregamento.

Figura 35 – *Boxplot* das médias do Índice Entalpia de Conforto(IEC) dos ambientes (externo e interno) durante as operação de carregamento, descarregamento realizadas sem o molhamento da carga



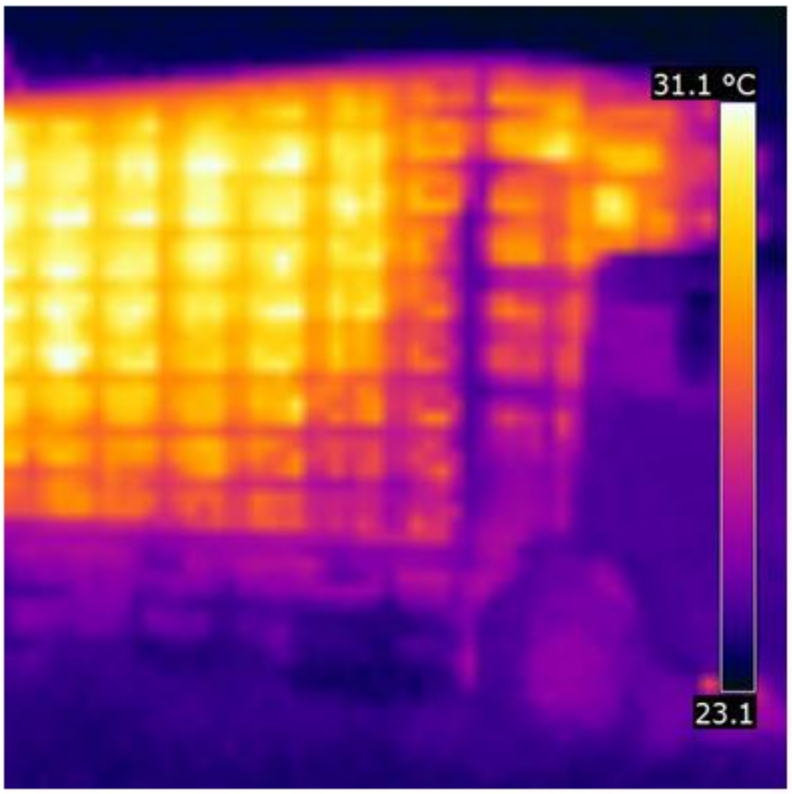
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1 Análise termográfica sem o molhamento

A Figura 36 representa o termograma durante a operação de carregamento com temperatura mínima de 23 °C e máxima de 31 °C, respectivamente, com valores fora da zona de conforto para frangos de corte na sexta semana de vida.

O termograma possuía as seguintes características: temperatura refletida de 33 °C, umidade relativa de 71%, emissividade de 0,98, temperatura atmosférica média de 25 °C e distância do objeto 1,5 m.

Figura 36 – Termograma no início do carre- gamento sem o molhamento



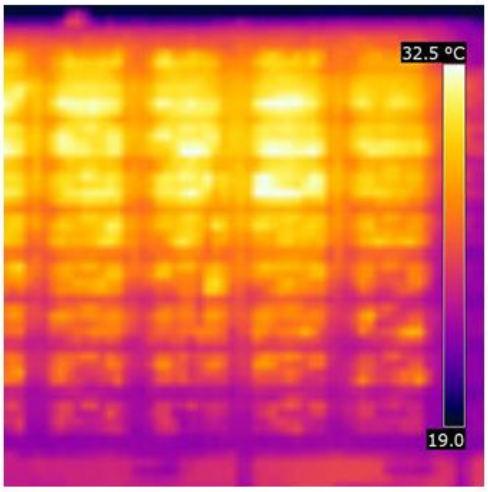
Fonte: Elaborado pelo autor.

As Figuras 37 e 38 correspondem aos termogramas das laterais direita e esquerda, respectivamente, ao final da operação de carregamento. Observou-se o aumento dos valores de temperatura mínima e máxima com o passar do tempo, devido, em parte, ao aumento da temperatura atmosférica e aumento dos níveis de insolação, o que caracterizaria a necessidade de métodos de engenharia para controle da variável temperatura.

Os termogramas possuíam as seguintes características: temperatura refletida de 33 °C, umidade relativa de 71%, emissividade de 0,98, temperatura atmosférica média de 27 °C e distância do objeto 1,5 m.

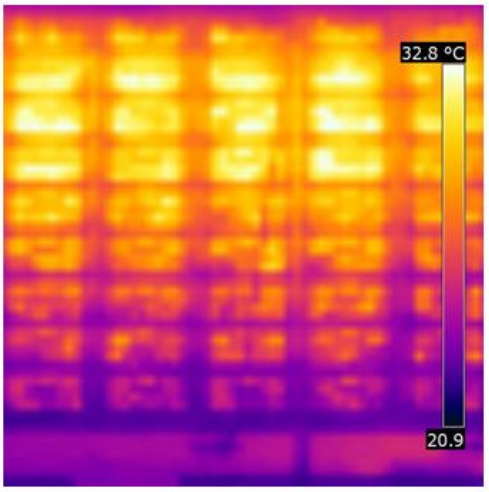
Observou-se o aumento da temperatura com o decorrer do tempo, logo os valores de temperatura estariam fora da zona de conforto, com temperatura mínima de 19 °C e máxima de 35 °C.

Figura 37 – Lateral direita sem a realização do molhamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 – Lateral esquerda sem a realização do molhamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Análise geoestatística sem o molhamento

Assim como no molhamento a caracterização espacial das variáveis temperatura, umidade relativa e IEC ao longo da fileira central foi feita com os mapas de Krigagem.

A Tabela 11 apresenta as coordenadas de localização dos 18 *Data Logger* ao longo da fileira central e os valores das médias das temperaturas, umidade relativa e IEC referentes às observações sem molhamento da carga para a construção dos gráficos de Krigagem.

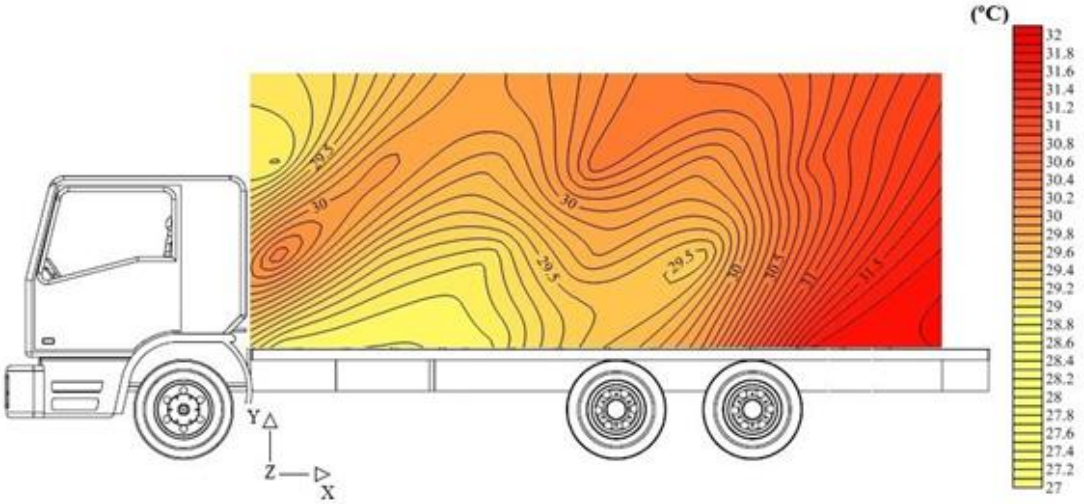
Tabela 11 – Dados para a construção dos mapas de Krigagem sem o molhamento

Data Logger	x (cm)	y (cm)	T (°C)	UR (%)	IEC (KJ/kg de ar seco)
L1	28	0	28,7	69	72,0
L2	28	96	30,8	78	85,3
L3	28	192	28,7	62	67,2
L4	140	0	28,9	63	68,5
L5	140	96	29,3	72	75,6
L6	140	192	30,1	59	69,9
L7	252	0	28,8	72	73,8
L8	252	96	28,9	63	68,7
L9	252	192	29,6	77	80,2
L19	364	0	29,6	70	75,7
L11	364	96	29,9	69	76,2
L12	364	192	30,7	65	76,7
L13	476	0	30,0	68	75,7
L14	476	96	29,1	70	73,7
L15	476	192	29,9	64	72,3
L16	588	0	31,9	62	78,3
L17	588	96	30,8	64	75,7
L18	588	192	31,0	69	80,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo com a avaliação do microclima das caixas da fileira central da carga, a Figura 39 representa o mapa de Krigagem das médias de temperatura sem o molhamento da carga.

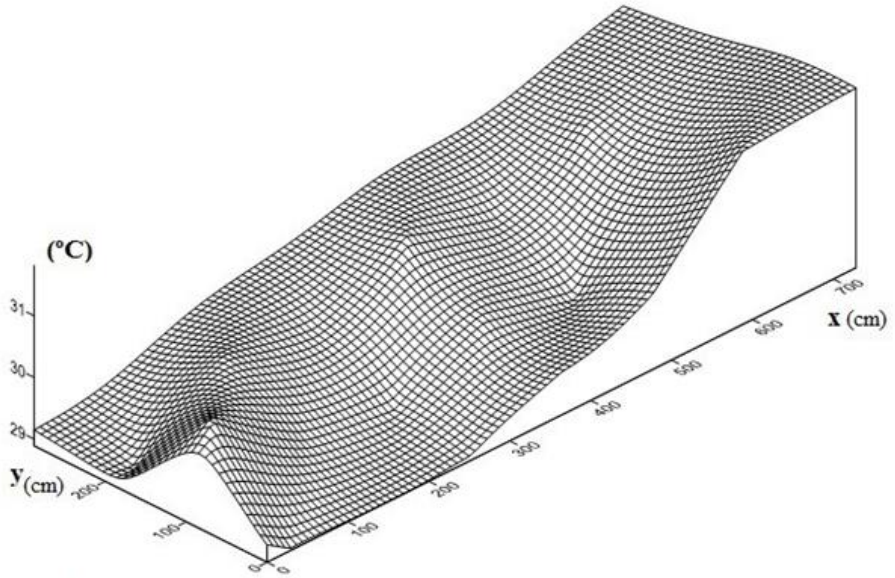
Figura 39 – Perfil das médias de temperatura ao longo da fileira central da carga sem o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos pela análise espacial mostraram que os picos de temperatura se concentravam na parte final da carga com médias de temperatura em torno de 32°C, como pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 – Distribuição espacial das médias de temperatura ao longo da fileira central da carga sem o molhamento

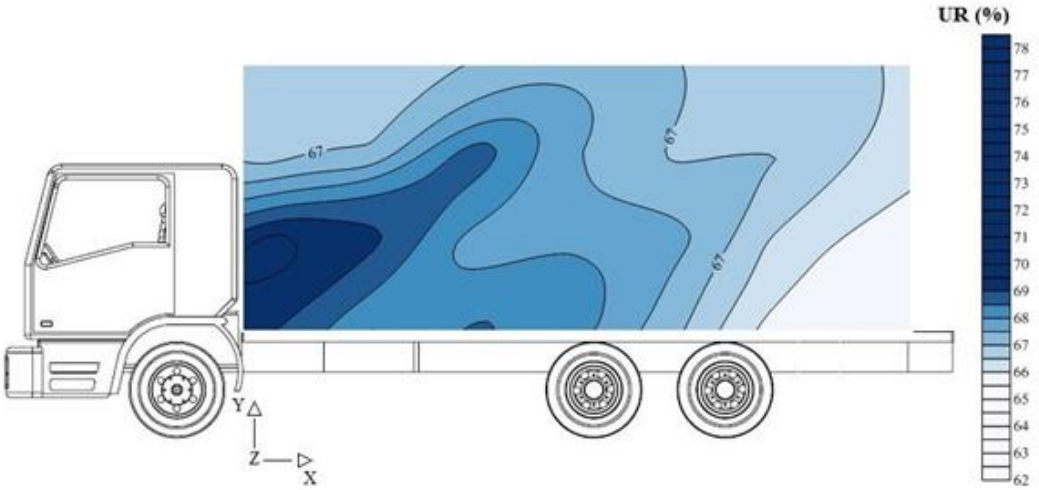


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos mostraram que ao longo da fileira central as temperaturas estão muito acima do limite superior (23 °C) de conforto para frangos de corte na sexta semana de vida.

A umidade relativa ao longo da fileira central (Figura 41) apresentou valores mais baixos se comparados com os valores da Figura 29.

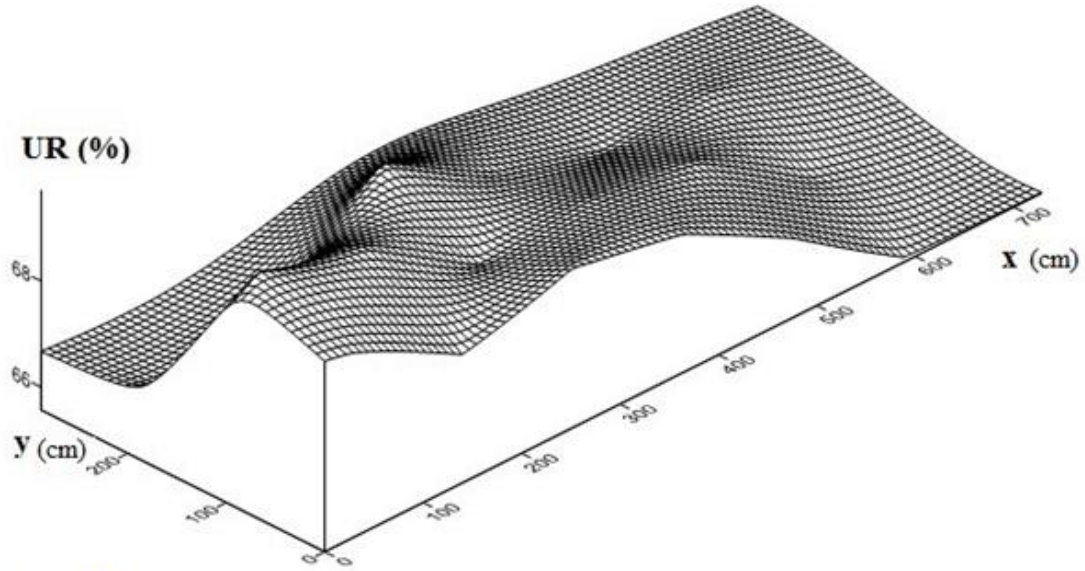
Figura 41 – Perfil das médias da umidade relativa ao longo da fileira central sem o molhamento da carga



Fonte: Elaborado pelo autor.

Mesmo com os valores mais baixos, em comparação com o molhamento, grande parte da carga apresentou valores que ultrapassam o limite superior de conforto (65 - 70%), devido em grande parte pela respiração das aves na tentativa regular sua temperatura interna. Os pontos de menor umidade relativa se concentram nas últimas caixas, como observado no gráfico 3D (Figura 42).

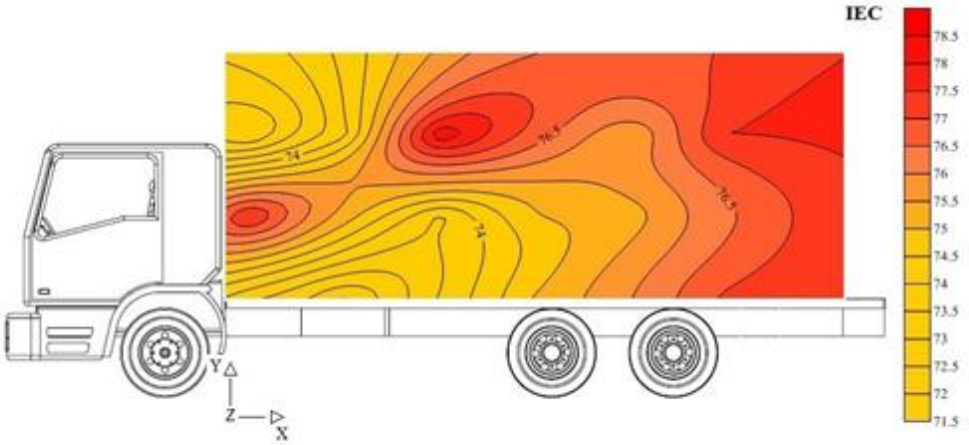
Figura 42 – Distribuição espacial das médias de umidade relativa ao longo da fileira central sem o molhamento da carga



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição espacial do IEC sem o molhamento (Figura 43) mostrou que o microclima das caixas apresentaram uma situação de desconforto com seus valores entre as regiões crítica (63,1 - 72,6 KJ/kg de ar seco) e letal (72,6 - 106,0 KJ/kg de ar seco), assim como foi observado no molhamento. Porém, a maioria das caixas localizadas no centro da carga apresentaram valores classificados como críticos, e as caixas com o pior microclima se concentraram na traseira do caminhão, com valores dentro na zona letal.

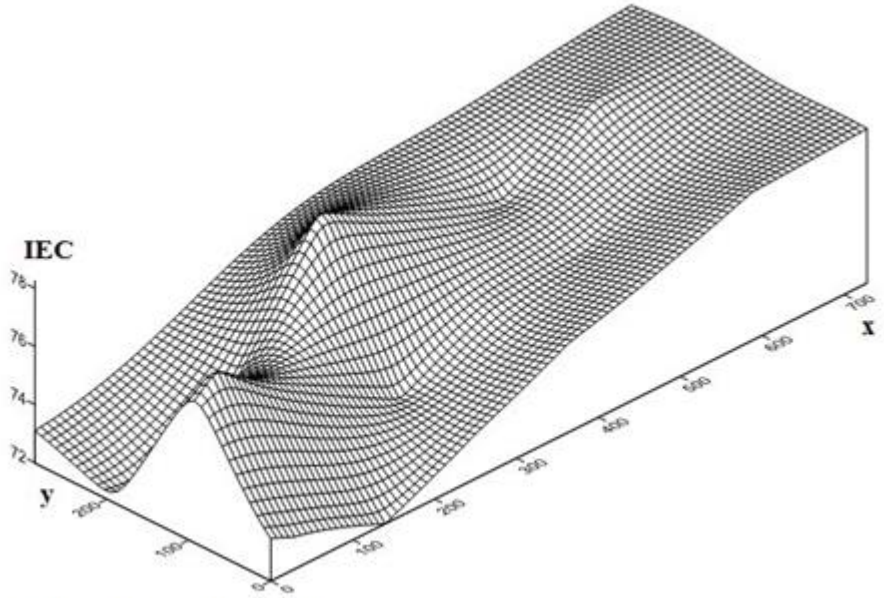
Figura 43 – Perfil das médias do IEC ao longo da fileira central da carga sem o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico da Figura 44 confirmou a existência de uma grande área localizada próxima a parte traseira da fileira central com valores elevados de IEC.

Figura 44 – Distribuição espacial das médias do IEC ao longo da fileira central da carga sem o molhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os resultados apresentados pela geoestatística em relação à fileira central da carga com e sem o molhamento, observou-se que as maiores temperatura foram registradas sem o molhamento da carga e que Embora os menores valores de umidade relativa terem sido registrados sem o molhamento, algumas regiões apresentaram valores que ultrapassavam 70% (limite superior de conforto). Os maiores valores de IEC para frangos de corte na sexta semana de vida foram observados no molhamento, em virtude do excesso de água nas caixas, que criaram uma atmosfera super saturada de vapor de

água que dificultou as perdas de calor pelo processo evaporativo. A análise geoestatística apontou que a pior situação de estresse térmico foi para o molhamento da carga.

4.3 Teste de significância da fileira central

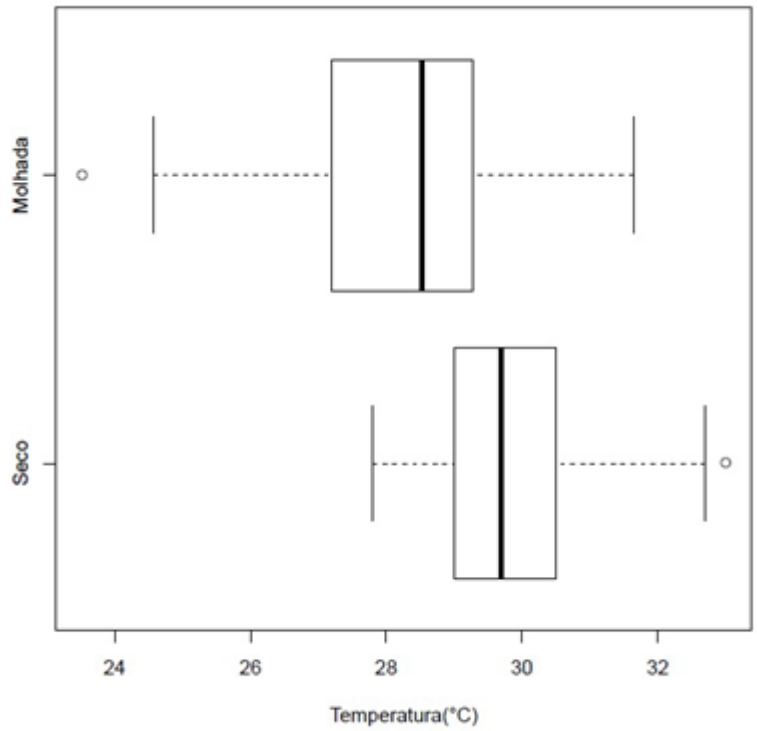
A análise estatística foi realizada utilizando os parâmetros molhado e seco, de acordo com os valores de temperatura, umidade relativa e IEC coletados pelos *Data Logger*, distribuídos ao longo da fileira central da carga, durante o carregamento e transporte. Utilizou-se a análise gráfica do *boxplot* para caracterizar as variáveis temperatura, umidade relativa e IEC relativos ao microambiente das caixas.

Além da análise gráfica, foi utilizado o teste de hipóteses para verificar se haveria diferença significativa entre os parâmetros seco e molhado.

4.3.1 Análise gráfica da temperatura, umidade relativa e IEC

A Figura 45 representa o *boxplot* da distribuição de temperaturas referente a fileira central da carga com o molhameto (molhada) e sem o molhamento (seco). Observou-se que em ambas as situações as temperaturas estavam fora da zona de conforto. Porém, as maiores médias de temperatura foram registradas sem o molhamento da carga.

Figura 45 – *Boxplot* das médias das temperaturas da fileira central da carga com o molhamento (molhada) e sem o molhamento (seco)



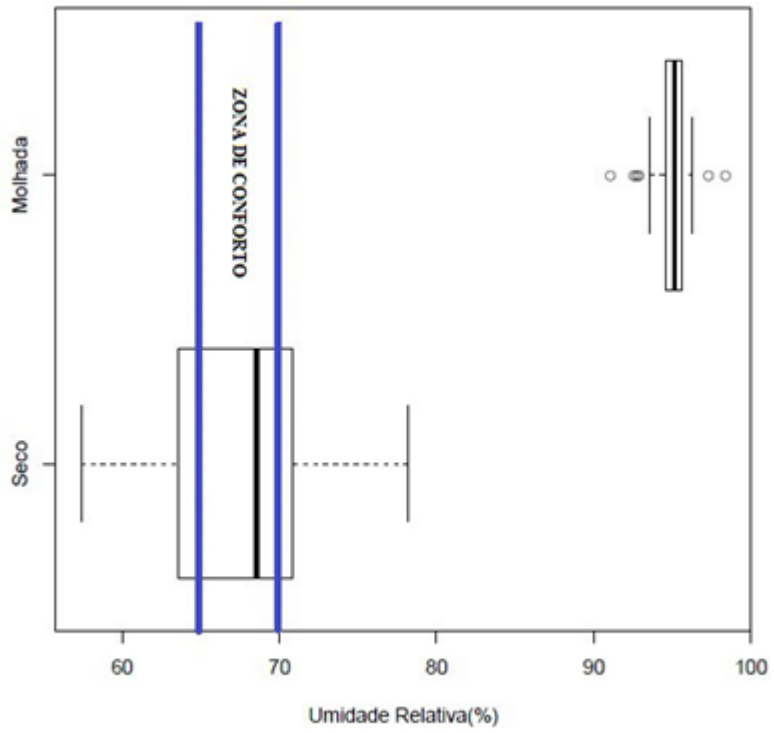
Fonte: Elaborado pelo autor.

Prosseguindo com a análise, a Figura 46 apresenta o *boxplot* da distribuição da umidade relativa à fileira central da carga com o molhameto (molhada) e sem o molhamento (seco).

Com relação à distribuição da umidade relativa, observou-se que o excesso de umidade gerado pelo molhamento da carga ocasionou uma situação de desconforto, o que já era esperado devido à falta de metodologia para realizar o molhamento da carga. Observou-se no *boxplot* vários valores *outlier* (valores extremos), o que comprovou a irregularidade da distribuição de água na carga.

Já o microclima das caixas sem o molhamento, apresentou grande parte de seus valores dentro da zona de conforto.

Figura 46 – *Boxplot* das médias da umidade relativa da fileira central da carga com o molhamento (mo- lhada) e sem o molhamento (seco)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise, considerando os valores individuais das médias da temperatura e umidade relativa, poderia levar à conclusões equivocadas. Conforme comentado anteriormente, para a análise do estresse térmico várias variáveis devem ser levadas em consideração, dependendo da situação.

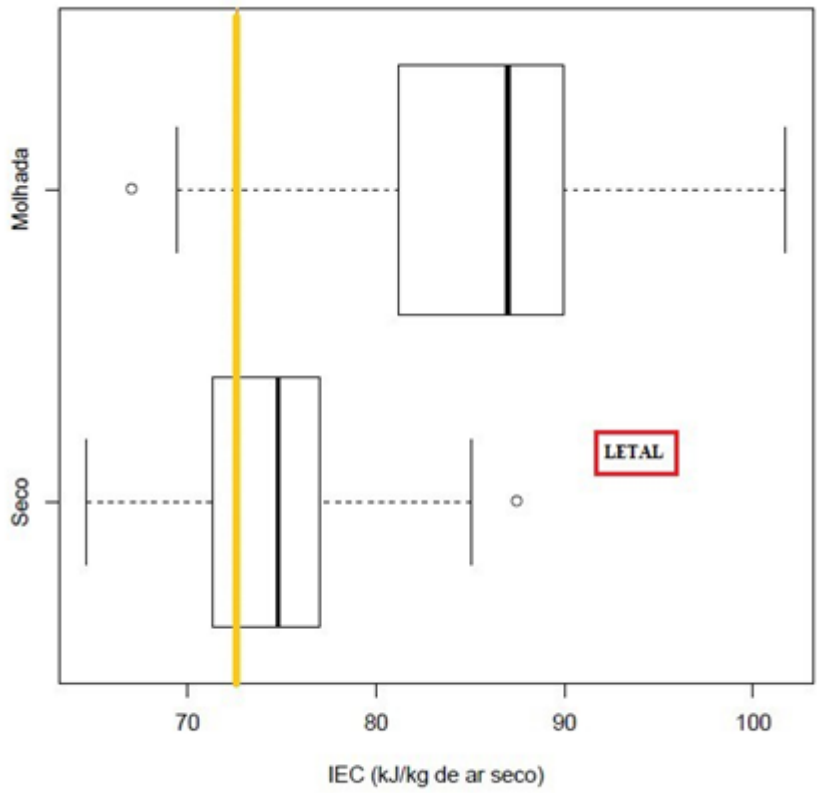
Neste trabalho, para a determinação do estresse térmico, utilizou-se a combinação do binômio temperatura e umidade relativa das caixas para a caracterização do microclima pelo uso dos valores do IEC.

A Figura 47 representa o *boxplot* da distribuição do IEC da fileira central da carga com o molhamento (molhada) e sem o molhamento (seco).

Observou-se que grande parte dos valores do IEC para a carga seca estiveram localizados entre as regiões crítica e letal para frangos na sexta semana de vida, o que caracterizou um elevado nível de estresse para as aves.

Para a carga molhada, os valores do IEC, apresentaram os valores mais elevados com, praticamente, todos dentro da zona de letalidade (72,7 - 106 kJ/kg de ar seco) para frangos na sexta semana de vida.

Figura 47 – *Boxplot* do IEC da fileira central da carga com o molhamento (molhada) e sem o molha- mento (seco)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se que em ambas as situações as aves estavam expostas ao estresse térmico, o que sugeriria que a empresa apresentasse altos índices de mortalidade durante o transporte das aves. Porém, a estatística de mortalidade da empresa em estudo apresen- tavam valores baixos, em torno de 0,3%, que pode ser atribuído ao tempo de permanência das aves nas caixas, em virtude da curta distância percorrida entre a unidade de criação e a unidade de abate.

Embora a mortalidade seja baixa, sabe-se que o estresse afeta a qualidade do produto final, fato que poderia ser evitado, levando-se em conta que existem medidas de engenharia que poderiam ser utilizadas para minimizar esses problemas.

4.3.2 Análise estatística pelo teste de hipóteses

A principal pergunta a ser respondida nesta pesquisa é se o ato de molhar a carga reduz o estresse térmico sofrido pelas aves durante a operação de transporte.

Para responder a essa pergunta, foram realizadas várias análises. Porém, para se chegar a uma conclusão, decidiu-se focar na fileira central da carga, pois como demonstrado por Barbosa Filho (2008), nela se apresenta a pior situação de estresse para as aves.

Para tanto foi escolhido o teste de hipóteses t, com as seguintes formulações de hipóteses:

- Hipótese zero: Não existiu diferença significativa entre as médias do IEC na fileira central da carga seca e molhada.

- Hipótese alternativa: A média do IEC na fileira central da carga seca foi menor que a média do IEC da fileira central da carga molhada.

A formulação da hipótese alternativa foi fundamentada pela análise gráfica. Para a hipótese alternativa, decidiu-se pelo teste unicaudal à esquerda. O nível de significância adotado α foi de 0,05 (5%) e 142 = $n_1 + n_2 - 2$ graus de liberdade (n_1 = 72 valores amostrais para a carga seca e n_2 = 72 valores amostrais para a carga molhada). Utilizou-se o valor p para rejeitar ou aceitar a hipótese zero.

Assim:

$H_0 : \mu_{seco} = \mu_{molhada}$;

$H_a : \mu_{seco} < \mu_{molhada}$;

Valor p $\leq \alpha \Rightarrow$ rejeitar hipótese H_0.

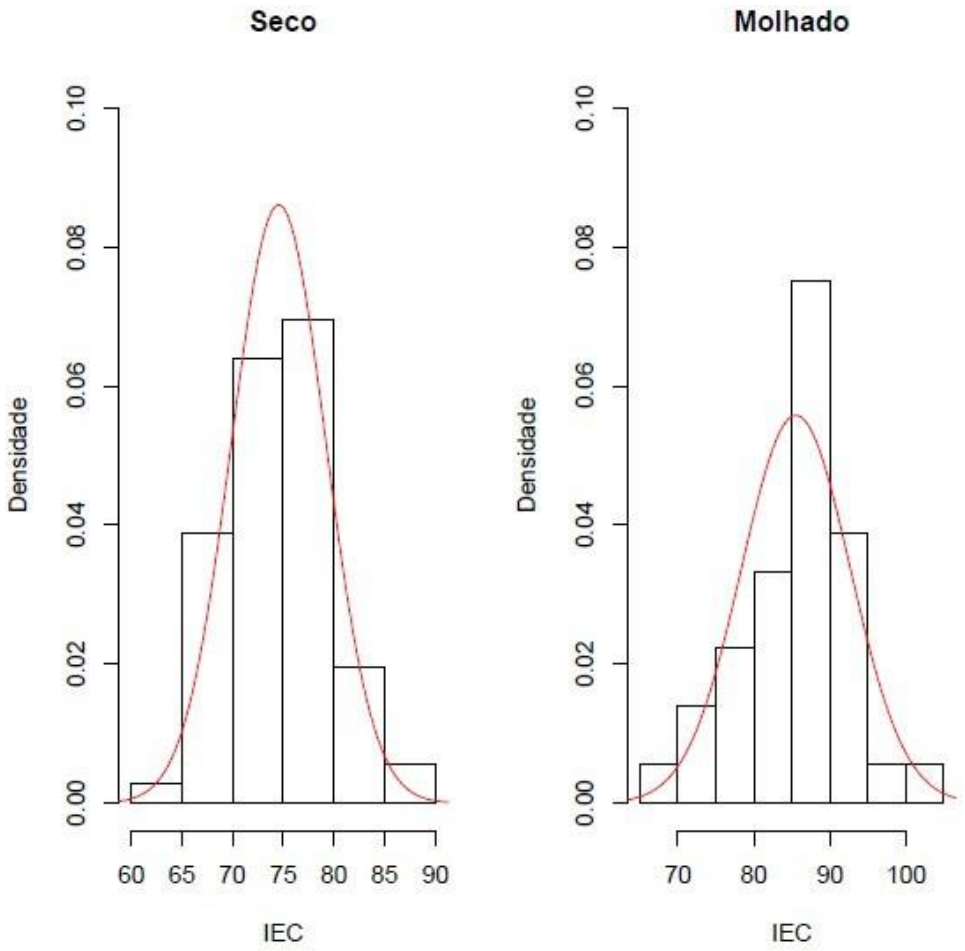
Onde:

μ_{seco} foi a média do IEC da carga seca. $\mu_{molhada}$ foi a média do IEC da carga molhada.

Antes de realizar o teste, deve-se analisar se os dados amostrais provêm de uma população com distribuição normal. Ao todo a amostra possui 144 valores de IEC (72 valores amostrais para a carga seca e 72 valores amostrais para a carga molhada). Para comprovação da normalidade dos dados amostrais foi realizado o teste *shapiro Wilk*, o qual deu positivo para normalidade.

A normalidade dos dados foi comprovada pela análise gráfica da Figura 48.

Figura 48 – Normalidade dos valores do IEC relativo a fileira central do caminhão durante o experimento - seca e molhada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os requisitos para a realização do teste de hipóteses t foram atendidos:

- Normalidade dos dados amostrais;

- Independência dos dados amostrais;

- Desvio-padrão populacional desconhecido;

-Variâncias amostrais diferentes.

Procedeu-se o cálculo do valor p e, em seguida, comparou-se com a probabilidade de ocorrência do tipo I.

Para o cálculo do valor p, utilizou-se os seguintes dados amostrais:

- Para a carga seca: : μ_{seco} =74,54 kJ/kg de ar seco; S^2_{seco} = 21,49 (kJ/kg de ar seco)^2

- Para a carga molhada: : $\mu_{molhada}$ =85,54 kJ/kg de ar seco; $S^2_{molhada}$ = 51,16 (kJ/kg de ar seco)^2

Onde:

S^2_{seco} foi a variância da carga seca;

$S^2_{molhada}$ foi a variância da carga molhada.

O valor p calculado foi de p = $2.2x10^{-16}$ muito mais baixo que o nível de significância adotado de 0,05. Assim, rejeitou-se a hipótese zero.

Logo, pelo teste haveria evidência suficiente ao nível de significância de 5% em rejeitar a hipótese zero e aceitar a afirmação de que a média do IEC da carga seca foi menor que a média do IEC da carga molhada.

Embora o teste estatístico tenha mostrado diferença significativa entre as médias do IEC e apoiado a hipótese de que a carga seca apresentou a menor média de IEC, a análise mostrou que em ambas as situações a ave esteve submetida à situação de desconforto térmico e que medidas deveriam ser tomadas para minimizar essa situação estressante.

Além do uso de equipamentos modernos e de *software* de análise matemática e estatística, procurou-se saber da equipe responsável pelo pré-abate quais as principais dificuldades enfrentadas na realização do trabalho com e sem a realização da prática de molhamento.

Um dos principais fatores relatados durante o transporte sem realizar o molhamento, diz respeito à emissão de particulados como penas e pó oriundos da cama durante o carregamento e descarregamento que, segundo os trabalhadores, causavam dificuldade em respirar e lesões cutâneas e oculares, o que contribui para tornar o molhamento uma prática constante.

Vale ressaltar que esta pesquisa foi desenvolvida de forma condicionada e que, para um estudo mais detalhado da eficiência do molhamento como fator de redução do estresse térmico, deve-se levar em consideração um maior número de variáveis como: distância do abatedouro, tipo de clima, tempo de deslocamento, aspectos fisiológicos, incidência solar sobre a carga, tipo de caminhão, arrumação da carga, etc.

Como observado, ainda há muito a ser pesquisado e debatido em relação às operações pré-abate e ao desenvolvimento de novos métodos de manejo e de novas tecnologias, fatores que podem ser a garantia de um produto final de melhor qualidade e menos perdas para os produtores.

4.4 Sensação térmica durante o transporte

Outro fator estudado nesta pesquisa foi a influência da velocidade e da temperatura do vento na sensação de conforto durante a viagem das aves até o abatedouro.

Devido à falta de uma relação que determine a real temperatura "sentida" pela ave, fez-se uso da equação 11. Os resultados obtidos durante as duas etapas do experimento estão resumidos na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores da velocidade (V. m/s) e temperatura (T. °C) do vento registrados na lateral esquerda (Lat. Esq.), lateral direita (Lat. Dir.) e topo da carga durante o transporte de frangos de corte com seis semanas de vida com e sem o molhamento da carga.

	Lat. Esq.		Lat. Dir.		Topo		Molhamento	
Carga	T	V	T	V	T	V	SIM	NAO
1	21,1	8,2	22,0	7,1	21,3	1,2	X	
2	21,0	7,7	22,3	6,8	22,7	1,3	X	
3	22,2	8,0	20,3	6,2	23,0	1,2	X	
4	23,0	9,2	20,2	8,5	22,0	1,2	X	
5	22,0	7,1	22,1	6,2	23,0	2,1		X
6	21,8	8,3	23,0	5,8	23,2	1,1		X
7	22,7	6,2	22,1	7,8	24,0	1,2		X
8	23,8	9,2	20,5	8,8	23,5	1,1		X

Fonte: Elaborado pelo autor.

Substituindo os dados da Tabela 12 na equação 11, obtem-se a sensação térmica que toma como referência a pele humana, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Sensação térmica das aves segundo índice *Wind Chill Temperature* (TWC).

Carga	Sensação Térmica, °C			
	Lateral Esquerda	Lateral Direita	Topo	Molhamento
1	16,3	18,0	22,2	SIM
2	16,4	18,5	23,4	SIM
3	17,8	16,2	22,8	SIM
4	18,6	14,8	22,6	SIM
5	18,0	18,7	22,6	NÃO
6	17,3	19,9	24,1	NÃO
7	19,3	17,8	24,7	NÃO
8	19,9	15,2	24,3	NÃO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostraram que o topo da carga apresentou os menores valores de velocidade, em grande parte devido ao *design* e *layout* de arrumação da carga, que dificultou a propagação do vento na parte superior, como forma de aumentar o fluxo de ar no topo, sugere-se a instalação de dispositivo quebra vento para a criação de zonas de turbulência no topo da carga.

O bem-estar dos animais durante o transporte deve ser uma preocupação para os produtores e atenção especial deve ser dada aos veículos de transporte que, na grande maioria dos casos, são projetados para o transporte de cargas inertes e a única preocupação do estudo da aerodinâmica é os efeitos da resistência do ar para reduzir o consumo de combustível.

As aves produzem calor e vapor de água, e a preocupação com a circulação de ar deve ser levada em conta no projeto dos veículos de transporte, bem como no *layout* da carga, a fim de minimizar os problemas criados devido à geração de microclimas estressantes (KETTLEWELL et al., 2001).

Ainda segundo Kettlewell et al. (2001), muitas pesquisas vem sendo desenvolvidas para aproveitar o vento passivo durante o transporte, com o intuito de dissipar o calor e diminuir a quantidade de vapor de água gerado pelos animais.

Como demonstrado pelos valores da velocidade do vento, o caminhão apresentou um *layout* que não favoreceu a redução de fatores estressantes na carga. Assim, pesquisas utilizando túnel de vento devem ser realizadas para relacionar as variáveis envolvidas durante o transporte e sugerir o melhor tipo de arrumação da carga, assim como colaborar com o projeto de transportes mais eficientes em relação ao bem-estar dos animais.

Os dados coletados de sensação térmica apontaram para valores de temperatura fora da zona de conforto nas laterais da carga, mais precisamente para valores abaixo de 21 °C o que indicou estresses causado por frio. Porém, esses dados não são conclusivos, uma vez que a equação utilizada não retrata a verdadeira sensação sentida pelas aves, pois tomou-se como referência a pele humana, e durante o experimento foram utilizados somente três termoanemômetros localizados no centro geométrico da carga. Assim, as medidas foram coletadas de forma pontual e para um estudo mais detalhado seria necessário um maior número de equipamentos. Outro ponto a ser levado em consideração foi a impossibilidade de análise da fileira central quando a circulação de ar.

5 CONCLUSÕES

Com relação à prática do molhamento como forma de amenizar o estresse térmico e melhorar as condições de bem-estar durante o transporte, foi possível comprovar que:

- O molhamento não se mostrou eficiente como método de atenuação do estresse térmico durante o transporte de frangos vivos.

Com relação às condições bioclimáticas dos ambientes externos e internos durante as operações pré-abate:

- O galpão de criação e a área de descarregamento apresentaram as piores condições de conforto térmico.

Com relação ao uso da tecnologia infravermelha, foi possível comprovar que:

- A termografia se apresentou como ferramenta de análise rápida e eficiente para a caracterização das condições de conforto térmico.

Com relação ao estudo da sensação térmica e circulação de ar na carga, foi possível comprovar que:

- O caminhão de transporte apresentou um \textit{design} e \textit{layout} que não favoreceu a distribuição de ar entre a carga.

- As aves que viajam nas laterais sofreram mais os efeitos do estresse pelo frio.

- Pesquisas devem ser desenvolvidas para criar uma relação que associe a velocidade e a temperatura do vento com a real temperatura sentida pela ave.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise dos resultados apresentados neste trabalho, foi possível verificar que, quanto ao macroclima dos ambientes onde ocorreram as operações pré-abate, mesmo com a utilização de nebulizadores e ventiladores, o galpão de criação e a área de descarregamento se apresentaram como os locais com a pior situação de conforto térmico das aves, devido à falta de precisão do sistema de controle adotado. A precisão no conforto térmico, porém, somente poderá ser alcançada quando as variáveis ambientais forem equacionadas de forma correta com as características termorregulatórias do animal.

Outro ambiente que deve requerer a atenção do produtor é a área destinada ao carregamento, pois, embora a atividade seja realizada nas primeiras horas do dia, para evitar altas temperaturas, é preciso estar preparado para enfrentar contra tempos que podem ocasionar atrasos e prolongar a operação. Assim, aconselha-se o uso de estruturas de proteção da radiação solar, a fim de evitar o ganho de energia pela carga.

Quanto à prática do molhamento da carga, foi possível verificar sua ineficiência em atenuar o estresse térmico, devido, em grande parte, à falta de circulação de ar entre as caixas, ocasionado pelo layout compacto da carga. Este fator gera um microclima com uma atmosfera supersaturada de vapor d´água, dificultando o processo de troca térmica por convecção. Logo, a prática do molhamento da carga antes do transporte deve ser evitada, e estudos para o projeto de veículos de carga que propiciem uma melhor distribuição de ar para a carga viva deve ser prioridade. É preciso entender que as variáveis envolvidas no transporte de carga viva, como temperatura, umidade relativa, layout da carga, velocidade e temperatura do vento, tempo de viagem, estações do ano, tipo de estrada, vibração, etc., agem de forma direta e indireta na fisiologia das aves.

Ainda sobre a prática do molhamento, embora não foi possível comparar o peso do caminhão seco e do caminhão após molhar a carga, supõem-se que a água absorvida pelas penas penas das aves contribuam com o aumento de peso da carga, como consequência direta o caminhão consumirá mais diesel o que aumentará os custos diretos do produtor.

Assim, a necessidade de determinar a sensação térmica das aves durante o transporte mostrou-se uma necessidade, pois a circulação de ar entre as caixas deverá ser bem equacionada, uma vez que o fluxo de ar elevado poderá acelerar a perda de calor e a ave sofrerá estresse por frio.

Esta pesquisa apontou que o grande desafio a ser enfrentado pela indústria avícola no transporte de frangos vivos será o design de caminhões e cargas que tragam conforto, uma vez que o transporte é parte essencial do ciclo de produção de frangos de corte.

REFERÊNCIAS

ABERNATHY, M.; BRANDT, M. M.; ROBINSON, C. Noninvasive testing of the carotid system. **American family physician**, v. 29, n. 3, p. 157–171, 1984.

ALBRIGHT, L. D. et al. **Environment control for animals and plants.** [S.l.]: American Society of Agricultural Engineers, 1990.

ASHRAE, F. H. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers. **Atlanta, USA**, 1997.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. [S.l.]: Ed. UFV, 2010.

BARBOSA FILHO, J. A. D. **Caracterização quantiqualitativa das condições bioclimáticas e produtivas nas operações pré-abate de frangos de corte**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo (USP). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Mudanças e uso das tabelas de entalpia. **Mudanças e uso das tabelas de entalpia**, 2007.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Transporte de frangos: caracterização do microclima na carga durante o inverno1. **R. Bras. Zootec**, SciELO Brasil, v. 38, n. 12, p. 2442–2446, 2009.

BAYLISS, P. A.; HINTON, M. H. Transportation of broilers with special reference to mortality rates. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 28, n. 1–2, p. 93 – 118, 1990. ISSN 0168-1591. Transport and Pre-slaughter Handling. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016815919090048I>. Acesso: julho de 2015.

BERGMAN, T. L. et al. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; SILVA, A. V. F. Fisiologia do estresse calórico ea utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 33, n. 5, p. 975–981, 2003.

BOUZIDA, N.; BENDADA, A.; MALDAGUE, X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. **Journal of Thermal Biology**, Elsevier, v. 34, n. 3, p. 120–126, 2009.

BRAGA FILHO, W. **Transmissão de calor**. [S.l.]: Thomson, 2004.

BRESSAN, M. C. Efeito dos fatores pré e pós-abate sobre a qualidade da carne de peito de frango. Biblioteca Digital da Unicamp, 1998.

BROOM, D. M.; FRASER, A. F. **Comportamento e bem-estar de animais domésticos**. [S.l.]: Manole, 2010.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (bghi) as comfort equation for dairy cows. Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers](USA), 1981.

CASTILLO, C. J. C.; RUIZ, N. J. Manejo pré-abate, operações de abate e qualidade de carne de aves. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS. [S.l.: s.n.], 2010. p. 171–190.

CERDEIRA, F. et al. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. **Energy and Buildings**, Elsevier, v. 43, n. 8, p.1845–1851, 2011.

CONY, V. A. Manejo do carregamento, abate e processamento: como evitar perdas. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVI´COLAS. [S.l.: s.n.], 2000. p. 203–212.

CORDEIRO, M. B. et al. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no per´ıodo de inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia,** SciELO Brasil, v. 39, n. 1, p. 217–224, 2010.

DA SILVA, I. J. O. Contribuições à zootecnia de precisão na produção industrial de aves e suínos no brasil. 2007.

DÉBORAH, C. C. Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasi. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, 2011.

DE ARAU´ JO, M. A. V.; EDUARDO, J. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 30, n. 3, p. 485–496, 2006.

DUKE, G. E.; BASHA, M.; NOLL, S. Optimum duration of feed and water removal prior to processing in order to reduce the potential for fecal contamination in turkeys. Poultry science, Oxford University Press, v. 76, n. 3, p. 516–522, 1997.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Tranferência de Calor e Massa: uma abordagem prática. [S.l.]: McGraw Hill, Brasil, 2012.

FARIAS, P. R. S. et al. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Sociedade Brasileira de Fruticultura, p. 235–241, 2003.

FIGUEIREDO, E. A. P. et al. Recomendações técnicas para a produção, abate, processamento e comercialização de frangos de corte coloniais. Sistemas de produção–Embrapa Suínos e Aves, 2007.

FLIR. Termovisores FLIR. 2014. Disponível em: <http://www.flir.com/thermography/ americas/br/view/?id=56784/>.. Acesso em: julho 2014.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P**. Introdução à mecânica dos fluidos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2014. 871 p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. [S.l.]: Studio Nobel, 1999.

FURLAN, R. L. Influeˆncia da temperatura na producão de frangos de corte. SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA, Embrapa Suínos e Aves Santa Catarina, v. 7, p.

104–135, 2006.

GRACIANO, D. E. et al. identificação de artrite em suínos utilizando imagem termográfica. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p. 79–83, 2014.

HFAC. **Padrões do Humane Farm Animal Care para a produção de Frango de Corte**. [S.l.]: HFAC - Humane Farm Animal Care, 2008.

HUNTER, R. R.; MITCHELL, M. A.; MATHEU, C. Mortality of broiler chickens in transit—correlation with the thermal micro-environment. In: **Livestock Environment VI Proc 6th Int Symp, Am Soc Agric Eng. Louisville: Kentucky**. [S.l.: s.n.], 2001. p. 542–549.

KAKAC, S.; YENER, Y.; PRAMUANJAROENKIJ, A. **Convective heat transfer**. [S.l.]: CRC press, 2013.

KANNAN, G. et al. Effects of crating and transport on stress and meat quality characteristics in broilers. **Poultry science**, Oxford University Press, v. 76, n. 3, p. 523–529, 1997.

KETTLEWELL, P. J. et al. Ap—animal production technology: Design and operation of a prototype mechanical ventilation system for livestock transport vehicles. **Journal of agricultural engineering research**, Elsevier, v. 79, n. 4, p. 429–439, 2001.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. [S.l.]: E. Blucher, 2002, 2002.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terrae Didática**, scieloppegeo, v. 2, p.

19 – 33, 2006. ISSN 1980-4407. Disponível em: (http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?

script=sci\ arttext&pid=S1980-44072006000100003&nrm=iso). Aceso: junho de 2014

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. **DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, texto didático**, v. 6, n. 19, p. 2002a, 2002.

LEANDRO, N. S. M. et al. Efeito do tipo de captura dos frangos de corte sobre a qualidade da carcaça. **Ciência Animal Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 97–100, 2006.

LIN, H. et al. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. ii. four weeks of age. **Poultry science**, Oxford University Press, v. 84, n. 8, p. 1173–1178, 2005.

LUDTKE, C. B. **Abate humanitário de aves**. [S.l.]: WSPA - Sociedade Mundial de Proteção Animal, 2010.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. [S.l.]: Funep, 1994.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; SILVA, I. J. O. Ambiência na produção de aves em clima tropical. **Ambiência na produção de aves em clima tropical. Piracicaba: FUNEP**, v. 1, p. 31–87, 2001.

MAPA. Ministério da agricultura pecuária e abastecimento. portaria n. 210, 10/11/1998. **Aprovar o Regulamento Técnico de Inspeção Tecnológica e Higiênico-sanitária de carnes de aves**, p. 26, 1998.

MENDES, A. A. Jejum pré-abate em frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 3, n. 10, p. 199–209, 2001.

MENDES, A. S.; POSSENTI, M. A.; PAIXÃO, S. J. Aplicação dos conceitos de calorimetria na produção de frangos de corte. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, p. 099–108, 2008.

MINIPA. **Catálogo Geral de Produtos**. 2014. Disponível em: (http://www.minipa.com.br/Content/img/Catalogos/Arquivo/catalogogeral20132014.pdf). Acesso: junho de 2014.

MITCHELL, M. A.; KETTLEWELL, P. J. Sistemas de transporte e bem-estar de frangos de corte. In: **CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 199–215.

MITCHELL, M. A.; KETTLEWELL, P. J. et al. Welfare of poultry during transport–a review. In: **Poultry Welfare Symposium**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 90–100.

MODEST, M. F. **Radiative heat transfer**. 3. ed. [S.l.]: Academic Press, 2013. 882 p.

MORAN, M. J. et al. **Fundamentals of engineering thermodynamics**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010.

NÄÄS, I. A. et al. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. **Scientia Agricola**, SciELO Brasil, v. 67, n. 5, p. 497–502, 2010.

NASCIMENTO, G. R. et al. Índice fuzzy de conforto térmico para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 219–229, 2011.

NAZARENO, A. C. et al. Caracterização do microclima dos diferentes layouts de caixas no transporte de ovos férteis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 17, n. 3, p. 327–332, 2013.

NORTHCUTT, J. K. Factors influencing optimal feed withdrawal duration. University of Georgia, 2010.

NOVO, M. M. M. et al. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade (fundamentals on emissivity and its correlation with the refractory materials, energy saving and the environment). **Cerâmica**, SciELO Brasil, v. 60, p. 22–33, 2014.

OLIVEIRA, R. F. M. d. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho eo rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, SciELO Brasil, v. 35, n. 3, p. 797–803, 2006.

OLIVO, R. **O mundo do frango: cadeia produtiva da carne de frango**. [S.l.]: Ed. do Autor, 2006.

ONSET. **Data logger HOBO pro V2**. 2014. Disponível em: (http://www.onsetcomp.com/learning/catalogs).

QUEIROZ, M. L. V. **Conforto térmico de frangos de corte em galpões com sistema de nebulização**. Dissertação (Mestrado) — Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, 2014.

QUEIROZ, M. L. V.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; VIEIRA, F. M. C. Avaliação do desempenho térmico de frangos de corte de forma direta e prática. **Resvista Avisite, Campinas: Mundo Agro Editora Ltda Avisite**, 2012.

QUINTEIRO-FILHO, W. M. et al. Acute heat stress impairs performance parameters and induces mild intestinal enteritis in broiler chickens: Role of acute hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation. **Journal of animal science**, American Society of Animal Science, v. 90, n. 6, p. 1986–1994, 2012.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2014. Disponível em: (http://www.R-project.org/).

RODRIGUES, V. C. et al. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International journal of biometeorology**, Springer, v. 55, n. 3, p. 455–459, 2011.

RUI, B. R.; ANGRIMANI, D. S. R.; DA SILVA, M. A. A. Pontos críticos no manejo pré-abate de frango de corte: jejum, captura, carregamento, transporte e tempo de espera no abatedouro. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 41, n. 7, p. 1290–1296, 2011.

SCHETTINO, D. N. et al. Efeito do período de jejum pré-abate sobre o rendimento de carcaça de frango de corte. **Arq. bras. med. vet. zootec**, v. 58, n. 5, p. 918–924, 2006.

SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C. Ambiência animal e as perdas produtivas no manejo pré-abate: o caso da avicultura de corte brasileira. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, p. 113–131, 2010.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. Emprego do imageamento elétrico no estudo da contaminação por cemitérios. **Geociências (São Paulo)**, Geociências (São Paulo), v. 29, n. 3, p. 343–354, 2010.

STEWART, M. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**, Universities Federation for Animal Welfare, v. 14, n. 4, p. 319–325, 2005.

TABBAA, M. J.; ALSHAWABKEH, K. Some factors affecting preslaughtering mortality and damage to broilers and interaction during transportion to processing plants. **Dirasat, Agriculture Science**, v. 27, p. 375–384, 2000.

TARPANI, J. R. et al. Inspeção termográfica de danos por impacto em laminados de matriz polimérica reforçados por fibras de carbono. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, SciELO Brasil, v. 19, n. 4, p. 318–328, 2009.

THOM, E. C. Cooling degree: Day air conditioning, heating and ventilating. **Transactions of the Amer. Soc. Heating**, v. 301, p. 65–72, 1958.

TURKYILMAZ, M. K. et al. Effects of different feed withdrawals on performance and fecal contamination of carcass in broiler chickens. **International Journal of Poultry Science**, v. 5, n. 10, p. 975–978, 2006.

UBA. **Protocolo de Bem-Estar para Frangos e Perus**. [S.l.]: UBA - União Brasileira de Avicultura, 2008.

UBABEF. **Relatório anual**. [S.l.]: União Brasileira de Avicultura, 2014.

VERATTI, A. B. Termografia: princípios, aplicações e qualidade. São Paulo: ICON Tecnologia, 1992.

VIEIRA, F. M. C. **Avaliação das perdas e dos fatores bioclimáticos atuantes na condição de espera pré-abate de frangos de corte**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008.

VIEIRA, F. M. C. et al. Perdas nas operações pré-abate: Ênfase em espera. **Comunicado técnico**, 2009.

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. **GIS Brasil**, v. 98, 2000.

WABECK, C. J. Feed and water withdrawal time relationship to processing yield and potential fecal contamination of broilers. **Poultry Science**, Oxford University Press, v. 51, n. 4, p. 1119–1121, 1972.

WARRISS, P. D.; PAGAZAURTUNDUA, A.; BROWN, S. N. Relationship between maximum daily temperature and mortality of broiler chickens during transport and lairage. **British Poultry Science**, Taylor & Francis, v. 46, n. 6, p. 647–651, 2005.

WEBSTER, A. J. F. et al. Thermal stress on chickens in transit. **British poultry science**, Taylor & Francis, v. 34, n. 2, p. 267–277, 1993.

WITTE, R. S.; WITTE, J. S.; DE SOUZA, T. C. P. **Estatística**. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2005.

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; LIMA, J. S. de S. Módulos em matlab para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62/1, 2011.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. **São Paulo: Oficina de textos**, 2013.

ANEXO A

TABELA DE ENTALPIA PARA FRANGOS DE CORTE NA 6ª SEMANA

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

LIMITES	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP	INF	SUP
6 SEMANA	37,4	52,1	52,2	63,0	63,1	72,6	72,7	106,0