

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CARACTERIZAÇÃO E PREVISÃO DE ONDAS DE CALOR COM
IMPACTO NA MORTALIDADE DE FRANGOS DE CORTE**

MARCOS MARTINEZ DO VALE

CAMPINAS
ABRIL DE 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CARACTERIZAÇÃO E PREVISÃO DE ONDAS DE CALOR COM
IMPACTO NA MORTALIDADE DE FRANGOS DE CORTE**

Tese de Doutorado submetida à banca examinadora
para a obtenção do título de doutor em Engenharia
Agrícola na área de concentração em Construções
Rurais e Ambiente.

MARCOS MARTINEZ DO VALE

Orientadora: Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura

CAMPINAS
ABRIL DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

V234c Vale, Marcos Martinez do
Caracterização e previsão de ondas de calor com
impacto na mortalidade de frangos de corte / Marcos
Martinez do Vale.--Campinas, SP: [s.n.], 2008.

Orientador: Daniella Jorge de Moura
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Frango de corte. 2. Mineração de dados
(Computação). 3. Frango de corte - Mortalidade. 4.
Meta-análises. 5. Frango de corte – Fatores climáticos.
I. Moura, Daniella Jorge de. II. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.
Título.

Título em Inglês: Characterization and estimation of occurrence of heat waves with
impact on broiler mortality

Palavras-chave em Inglês: Broiler chicken, Mortality, Heat wave, Data mining,
Meta analysis

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

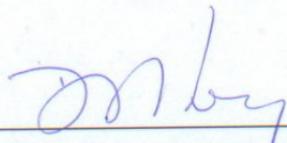
Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Denis Miguel Roston, Kelly Botigeli Sevegnani, José
Fernando Machado Menten, Irenilza de Alencar Nääs

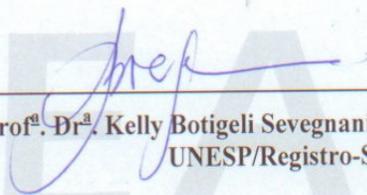
Data da defesa: 23/04/2008

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

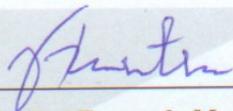
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Marcos Martinez do Vale**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de abril de 2008, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



**Prof. Dr. Denis Miguel Roston - Presidente
FEAGRI/UNICAMP**



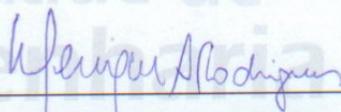
**Prof.ª Dr.ª Kelly Botigeli Sevegnani - Membro Titular
UNESP/Registro-SP**



**Prof. Dr. José Fernando Machado Menten - Membro Titular
ESALQ/USP**



**Prof.ª Dr.ª Irenilza de Alencar Nääs - Membro Titular
FEAGRI/UNICAMP**



**Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues - Membro Titular
FEAGRI/UNICAMP**

“...quem forma se forma e re-forma ao formar e quem é formado forma-se e forma ao ser formado”¹

“E uma das condições necessária a pensar certo é não estarmos demasiadamente certos de nossas certezas”¹

¹ FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo. Paz e Terra, 27ª ed., 148 p., 1996.

*Este trabalho é dedicado à Márcia, minha esposa amada e companheira incondicional desta
jornada.*

Ao nosso filho Mateus e às nossas famílias, verdadeiros valores de nossa existência.

*Que plantemos a semente correta no solo correto, pois sabemos que é desta semente que brota o
nosso futuro. Não importa o tempo para vingar nossa semeadura, importa o fruto.*

No plantar e colher se manifesta a síntese da criação e da Lei Divina.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso **Senhor, Pai Celeste**, amparador e refúgio em todos os momentos de minha existência.

À Profa. Daniella Jorge de Moura por ter confiado plenamente em meu trabalho desde o primeiro instante, pelo caminho paciente orientando minha formação e pela amizade e companheirismo.

À Professora Irenilza de Alencar Nääs, pela ajuda e pelos seus conselhos com visão além dos nossos dias.

Ao Professor Luiz Henrique Antunes Rodrigues, pela amizade, ensinamentos e exemplo.

Ao Dr. Stanley Robson de Oliveira Medeiros, pelo apoio e ensinamentos fundamentais a este trabalho.

Ao Prof. José Fernando Machado Menten, pela cooperação em nossos trabalhos e apoio.

Ao colega Rafael L. F. Silva, irmão, por ter perdido horas de seu trabalho para dedicar-se a ajudar este trabalho.

Ao Colega José Estevão e família, por ter aberto de forma incondicional as portas de sua “casa” para este estudo.

Aos meus sogros, Michele e Sônia, apoiadores e que me permitiram a paz necessária para conduzir este trabalho.

Aos colegas alunos e membros do grupo de pesquisa em Ambiência e Zootecnia de Precisão, sem a ajuda de todos, sem exceção, não seria possível a realização deste trabalho e a felicidade do convívio.

Ao Inácio, pelas “encrencas” de trabalho durante domingos inteiros.

Às minhas incentivadoras Ivone e Roberta, queridas e amadas companheiras de jornada.

Aos órgãos CAPES, pela bolsa de apoio e FAPESP, pelo financiamento deste projeto.

À Nutron Alimentos Ltda. pelo apoio técnico e financeiro.

À Pena Branca pelas doações e apoio.

Ao CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura da UNICAMP, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Ao CIIAGRO-IAC, Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agronômico de Campinas, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Ao amigo Dr. Jarbas H. Miranda, pelo apoio no processamento dos dados meteorológicos.
Aos professores e funcionários desta honrada instituição, pela dedicação, paciência e atenção.
Foram muitos a ajudar esse trabalho. Fica um agradecimento sincero aos que por equívoco não foram citados.

Ao Governo do Estado de São Paulo, de onde provieram todos os recursos de minha educação. Sou o testemunho de que o dinheiro público gasto em educação é e será sempre o instrumento de equidade social.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE EQUAÇÕES	xv
LISTA DE SIGLAS	xvi
RESUMO	xviii
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivos	03
1.1.1. Objetivo Geral	03
1.1.2. Objetivos Específicos	03
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Estresse Térmico	04
2.2. Métodos de Condicionamento Térmico	06
2.3. Ondas de Calor, Mudanças Climáticas e Impacto Econômico	08
2.4. Índices de Conforto Animal	11
2.5. Sistemas de Controle da Produção	12
2.6. Sistemas Especialistas e de Suporte à Decisão	15
2.7. Mineração de Dados e Aquisição de Conhecimento	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. Aquisição de Dados e Caracterização da Onda de Calor	20
3.2. Metodologia de Mineração de Dados	21
3.2.1. Hipóteses Básicas para Minerações de Dados	22
3.2.2. Entendimento dos Dados	23
3.2.3. Preparação dos Dados	23
3.2.4. Modelagem	26
3.2.5. Avaliação	26
3.3. Etapas de Mineração e Caracterização da Onda de Calor	28

	Página
3.3.1. Etapa 1: Mineração de Dados Históricos da Mortalidade de Frangos de Corte.	28
3.3.2. Etapa 2: Mineração de Dados Meteorológicos e Zootécnicos 2006/2007.	30
3.3.3. Etapa 3: Ambiente térmico dos galpões e magnitude de ondas de calor	33
3.3.4. Previsão de mortalidade de frangos com 24 horas de antecedência	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Etapa 1: Mineração de Dados Históricos da Mortalidade Frangos de Corte	39
4.1.1 Descoberta de conhecimentos preliminares	47
4.2. Etapa 2: Mineração de Dados Meteorológicos e Zootécnicos 2006/2007	48
4. 2.1. Descoberta de conhecimentos preliminares	56
4.3. Etapa 3: Descrição do ambiente térmico dos galpões e magnitude de ondas de calor	57
4. 3.1. Descoberta de conhecimentos preliminares	68
4.4. Previsão da mortalidade de frangos com 24 e 48 horas de antecedência	69
4.4.1. Descoberta de conhecimentos preliminares	76
4.5. Considerações gerais	77
4.5.1. A técnica de Mineração de Dados	79
4.5.2. Trabalhos futuros	80
4.5.3. Impacto econômico	81
5. CONCLUSÕES	83
ANEXO	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
Tabela 1 -	Matriz de Confusão para o cálculo da acurácia das classes e precisão dos modelos para classificação binária.	27
Tabela 2 -	Lista de atributos utilizados para a formação do banco de dados final.	29
Tabela 3 -	Lista de atributos analisados.	32
Tabela 4 -	Lista de atributos utilizados na modelagem da ocorrência da alta mortalidade com 24 horas de antecedência.	37
Tabela 5 -	Porcentagem de precisão dos modelos e das classes MA em função da abordagem de seleção de atributos.	40
Tabela 6 -	Temperaturas máximas (Tmax), médias (Tmed) e Índice de Temperatura e Umidade médio (ITUmed) em graus Celcius observados durante as ondas de calor.	46
Tabela 7 -	Incidência de Ondas de Calor (OC) durante o período experimental.	48
Tabela 8 -	Porcentagem da precisão das classificações conforme a abordagem de seleção e o julgamento de especialistas.	49
Tabela 9 -	Médias da idade, mortalidade, temperaturas do ar média (Tmed) máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidades relativas do ar média (URmed), máxima (URmax) e mínima (URmin) para dias nas condições normais (NO) e de onda de calor (OC)	53
Tabela 10 -	Médias das condições ambientais e probabilidades para as condições de onda de calor e normal de verão medidas internamente e externamente aos galpões.	58
Tabela 11 -	Temperaturas médias das mínimas, das máximas e da amplitude térmica nas condições de onda de calor (OC) e normal (NO).	59
Tabela 12 -	Precisão de modelos utilizando o ITU _{hga} (ITU horas graus acumulado no dia) maiores que 22, 23 e 24° C.	67

Tabela	Página
Tabela 13 - Médias de ITU _{hga} (ITU horas graus acumulado no dia) maiores que 22, 23 e 24° C para as condições de dias normais (NO) e de onda de calor (OC).	68
Tabela 14 - Lista de atributos utilizados para a predição de mortalidade alta em frangos de corte.	71
Tabela 15 - Precisão de modelos e das classes de mortalidade alta (MA) e normal em relação à abordagem para previsões com 48 horas de antecedência.	72
Tabela 16 - Lista de atributos utilizados para a previsão de mortalidade alta com 48 horas de antecedência.	75

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
Figura 1 –	Variação da temperatura superficial da terra nos últimos 140 anos em Graus Celsius a partir da média (FOLLAND et al., 2001).	9
Figura 2 –	Representação esquemática da distribuição de frequência de temperaturas para dois cenários de mudança climática, a, b e c (Adaptado de FOLLAND et al., 2001).	10
Figura 3 –	Esquema do desenvolvimento do sistema de suporte à decisão.	20
Figura 4 –	Esquema de desenvolvimento de projeto de mineração de dados CRISP-DM proposto por CHAPMAN et al. (2000).	22
Figura 5 –	Vista geral dos galpões (14) da granja localizada em Tuiuti – SP.	31
Figura 6 –	Estação meteorológica sendo calibrada para início de coleta de dados.	31
Figura 7 –	Vista interna de galpão da granja em Tuiuti – SP com detalhe no círculo amarelo de <i>datalogger</i> registrando condições ambientais internas.	34
Figura 8 –	Mini <i>datalogger</i> para coleta de dados ambientais interno ao galpão.	34
Figura 9 –	Árvore de decisão gerada a partir dos dados sem seleção de atributo (Precisão total = 82,14% e Precisão da Classe MA = 50%).	39
Figura 10 –	Árvores de decisão construídas a partir da abordagem de seleção de atributos por <i>Wrapper</i> (a) e ACP (b) com Precisão total = 89,28% e Precisão da Classe MA = 83,3%, para ambos os modelos.	41
Figura 11 –	Árvore de decisão gerada a partir da seleção de atributos por especialistas (Pr.= 85,71%, Pr. Classe Alta= 76,90%).	45
Figura 12 –	Árvore de decisão para a mortalidade de frangos de corte decorrente de ondas de calor.	50
Figura 13 –	Temperaturas do ar horárias nos locais externo e interno aos galpões para as condições normais e de onda de calor.	60
Figura 14 –	Umidades relativas do ar horárias nos locais externo e interno aos galpões para as condições normais e de onda de calor.	62

FIGURA	Página
Figura 15 – Potencial de redução de temperatura por resfriamento evaporativo para as condições de onda de calor (PRTOC) e para dias normais de verão (PRTNO).	64
Figura 16 – Índices de Temperatura e Umidade (ITU) horários nos locais externo e interno aos galpões para as condições normais e de onda de calor.	66
Figura 17 – Modelo de predição da mortalidade alta (MA) em frangos de corte com 24 horas de antecedência.	70
Figura 18 – Árvore de decisão para a previsão da mortalidade alta de frangos de corte com 48 horas de antecedência.	74
Figura 19 – Gráfico de regressão (a) para o IEP em função do ano de estudo e <i>box plot</i> para as diferenças entre lotes de sexos (b) diferentes de frangos de corte.	78

LISTA DE EQUAÇÕES

TABELA		Página
Equação 1	Índice de Temperatura e Umidade – ITU (CHEPETE et al., 2005)	24
Equação 2	Índice de Temperatura e Umidade horário acumulado em graus Celsius	35
Equação 3	Índice de Temperatura e Umidade - ITU (THOM, 1959)	43
Equação 4	PRT, potencial de redução de temperatura do ar	64
Equação 5	IEP, Índice de Eficiência Produtiva	78

LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise de Componentes Principais
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura da UNICAMP.
CFS	Custom Function Selection
CIIAGRO-IAC	Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas
Cps	Campinas
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
ESALQ-USP	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo
EUA	Estados Unidos da América
HW	Heat wave
IEP	Índice de Eficiência Produtiva
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITGU	Índice de Temperatura de Globo negro e Umidade do ar
ITU	Índice de temperatura e umidade do ar
ITU _{hga}	Índice de temperatura e umidade do ar, hora grau acumulado maior que (>) limite de 21, 22, 23 ou 24° C
ITUV	Índice de temperatura, umidade do ar e velocidade do vento
K	Kelvin
KDD	Knowledge Discovery in Database
M	Média
MA	Mortalidade alta
MAS	Monte Alegre do Sul
MAX	Máxima
MIM	Mínima
MN	Mortalidade normal
OC	Onda de calor
Patm	Pressão atmosférica
PRT	Potencial de redução de temperatura

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	Estado de São Paulo
T_{ar}	Temperatura do ar
T	Temperatura
T_{bu}	Temperatura de bulbo úmido
UE	União Européia
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UR	Umidade relativa do ar
VV	Velocidade do vento
χ^2	Qui quadrado
° C	Graus Celsius

CARACTERIZAÇÃO E PREVISÃO DE ONDAS DE CALOR COM IMPACTO NA MORTALIDADE DE FRANGOS DE CORTE

RESUMO

Com o aumento da produção de frangos de corte no Brasil surge a necessidade de otimização do sistema de produção, principalmente devido a um mercado competitivo, sendo necessária a aplicação de recursos de tecnologia que reduzam perdas. Perdas produtivas decorrentes de ondas de calor (OC) são comuns na produção de frangos de corte em clima tropical e a solução é um problema complexo. A previsão precoce destes eventos climáticos com impacto na mortalidade permite reduzir perdas. Bancos de dados zootécnicos e meteorológicos podem conter padrões úteis para a previsão da mortalidade de frangos de corte, possíveis de se extrair por técnicas como a Mineração de Dados. Este trabalho teve por objetivo geral prever a mortalidade de frangos de corte com um mínimo de 24 horas de antecedência. Os objetivos específicos foram: 1) Caracterizar OC com impacto sobre a mortalidade de frangos de corte; 2) Gerar modelos de previsão aplicável a sistemas de suporte à decisão durante o processo produtivo de frangos de corte prevendo a ocorrência de mortalidade alta em frangos de corte devido a OC; 3) Indicar ações mitigadoras para a amenização do impacto de OC. As OC com impacto na mortalidade de frangos de corte apresentaram características que dependem do tipo construtivo e da idade da ave. A condição mínima para a ocorrência de OC afetando aviários sem climatização foi: temperatura máxima do dia $> 32^{\circ}\text{C}$; temperatura média do dia $> 24^{\circ}\text{C}$; Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio $> 23^{\circ}\text{C}$; Velocidade média do vento $\leq 1,4\text{ m s}^{-1}$. Para aviários com climatização mínima, a mortalidade ocorreu de forma diferente entre as idades, não havendo mortalidade por OC para idade até 31 dias. Para as demais idades as condições para o desencadeamento de mortalidade alta foram: entre 31 e 40 dias: ITU máximo $> 30,6^{\circ}\text{C}$ e temperatura máxima $> 34,4^{\circ}\text{C}$; entre 41 dias e o abate: ITU máximo $> 30,6^{\circ}\text{C}$; temperatura máxima $> 34,4^{\circ}\text{C}$; ITU mínimo $\leq 15,5^{\circ}\text{C}$; hora da temperatura máxima $> 15\text{h}00\text{min}$. A magnitude média de OC com impacto na mortalidade de frangos de corte, medida em ITU horas grau acumulado (ITU_{hga}) $> 24^{\circ}\text{C}$, foi de 367°C acumulados no dia. As previsões com 48 horas (precisão de 91,12% do modelo e 66,9% para a mortalidade alta) e 24 horas (precisão de 97,2% do modelo e 93,3% para a mortalidade alta) de antecedência permitem o desencadeamento de ações mitigadoras para a redução da mortalidade em frangos de

corte. Dias de OC apresentam uma pior condição térmica, uma menor umidade relativa do ar nos horários de pico de calor, no turno da tarde, o que permite estratégias de mitigação com a intensificação do uso dos ventiladores e resfriamento evaporativo iniciando operação entre 09h00min e 10h00min, perdurando até as 20h00min. A previsão da mortalidade alta em frangos de corte a partir de dados meteorológicos com 24 e 48 horas de antecedência pode auxiliar na tomada de decisão precoce para se evitar esta mortalidade.

Palavras chave: frango de corte, mortalidade, onda de calor, mineração de dados, meta análise

CHARACTERIZATION AND ESTIMATION OF OCCURRENCE OF HEAT WAVES WITH IMPACT ON BROILER MORTALITY

ABSTRACT

As broiler production increases in Brazil it appears the need of optimizing production system mainly due to the market competitiveness, and technological resources application are required for reducing losses. Productive loss decurrently from heat wave (HW) incidence is quite common in broiler rearing under tropical conditions, and the solution for this is a rather complex problem. The early forecast of these climate events with impact on animal mortality may allow losses reduction. Data base on animal production and meteorology may enclose useful pattern for broiler mortality prediction, and it can be possible to extract them by techniques such as Data Mining. This research had the general objective of predicting broiler chicken mortality with a minimum period of 24 hours prior to heat wave exposure. The specific objectives were: 1) To characterize HW with impact on broiler mortality; 2) To generate forecast models applied to decision making systems during the broiler productive process, estimating the high mortality occurrence due to HW exposure; 3) To indicate mitigation actions to reduce HW impact on broiler chicken production. The HW with impact on broiler mortality presented characteristics that depend on the housing characteristics as well as on the age of the bird. The minimum concomitant climatic condition for HW affecting broiler production reared on housing without acclimatization was: maximum daily environmental temperature $> 32^{\circ}\text{C}$; average daily temperatures $> 24^{\circ}\text{C}$; average temperature and humidity index (THI) $> 23^{\circ}\text{C}$; and average wind speed $\leq 1.4\text{ m s}^{-1}$. For housing with the minimum acclimatization equipments mortality occurred in a distinct way for birds with distinct ages, and there was not mortality by HW exposure for birds up to 31 days old. For birds with age different from that, the climate condition for starting the high mortality incidence was distinct such as: between 31 and 40 days old: Maximum THI $> 30.6^{\circ}\text{C}$ and maximum environmental temperature above 34.4°C ; between 41 days old and laughter age: maximum THI $> 30.6^{\circ}\text{C}$; maximum ambient temperature $> 34.4^{\circ}\text{C}$; minimum THI $\leq 15.5^{\circ}\text{C}$; time that the maximum ambient temperature was found $> 15\text{h}00\text{min}$. The mean HW magnitude with impact in broiler 31 days old and characterized by THI degrees hour accumulated (THI_{dha}) $> 24^{\circ}\text{C}$, was of 367 $^{\circ}\text{C}$ accumulated during the day. The forecast within 48 hours (91.12% accuracy and 0.66 precision

for the class High Mortality) and 24 hours (97.2% accuracy of the model, and 0.93 precision for the class High Mortality) of minimum forecast allows the start of mitigation actions for reducing broiler mortality. Days during HW present the worst thermal conditions, with lower air relative humidity during peak of heat during the afternoon; that allows the adoption of mitigation strategies by using fans and evaporative cooling starting between 09h00min and 10h00min up to 20h00min. It was possible to predict high broiler mortality using meteorological data forecast within 24 and 48 hours, and this may help early decision making to avoid economical losses.

Key word: broiler chicken, mortality, heat wave, data mining, meta analysis

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de frangos de corte apresentou um significativo desenvolvimento nos últimos 35 anos, aumentando mais que a produção das carnes bovina e suína. Esse crescimento mundial foi desigual, com as Américas do Norte e Central e a Europa perdendo mercados e, em contrapartida, China e Brasil surgindo como novos centros de produção na Ásia e América do Sul (WINDHORST, 2006).

No Brasil, a produção de frangos de corte tem sido incrementada ano a ano, tornando o país o maior exportador mundial no ano de 2004 e apresentando um surpreendente desenvolvimento do ponto de vista econômico. Atualmente o Brasil supera seu maior competidor, os EUA, ainda que as exportações de ambos se mantenham muito próximas. Além da competitividade entre os maiores exportadores mundiais de frango, para o Brasil, a oscilação cambial é igualmente um forte fator de pressão sobre os preços mínimos frente ao custo de produção de frangos, ocasionando momentos em que os produtores não podem cobrir seus custos de produção (BRUNOZILLI e SOUZA, 2004; ROENIGK, 2005; MOLINARI, 2006).

Além de um mercado competitivo, existem outros fatores inerentes ao sistema brasileiro de produção que podem influir nos custos de produção, dentre eles o clima. O clima do Brasil apresenta grande variação e tipologia, porém, sua maior área está na zona intertropical, entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, predispondo a ocorrência de verões com temperatura e umidade elevadas, elementos meteorológicos que podem influir na produtividade agropecuária, aumentando sensivelmente a mortalidade de frangos de corte.

Durante o processo produtivo ocorrem grandes perdas de produção, principalmente nas fases finais de criação, devido ao estresse por calor, reduzindo índices zootécnicos, aumentando a mortalidade (HURWITZ et al., 1980; YAHAV et al. 1995, ABU-DIEYEH, 2006) e acarretando, conseqüentemente, o aumento do custo de produção e perdas econômicas.

A importância de instalações avícolas e a influência de parâmetros climáticos sobre a produção animal têm aumentado em razão das mudanças climáticas, especialmente em relação aos extremos climáticos no verão, e pelas próprias exigências de um microclima adequado aos frangos de corte (SOTTNIK, 2002).

Um dos principais eventos climáticos com impacto na produção animal são as ondas de calor. A definição de onda de calor segue conceitos particulares, sendo na maioria das vezes

voltados aos interesses diretos do bem-estar humano, não havendo uma definição clara deste evento climático com impacto na produção de frangos de corte no Brasil.

Um dos recursos mitigadores aos extremos de clima é a climatização do galpão, sendo imprescindível identificar quais equipamentos são fundamentais e a condição ambiental mínima do ambiente térmico.

Para a produção de frangos de corte, atividade de grande competitividade e com problemas climáticos, justifica-se a necessidade de otimização do sistema de produção, de automação e de utilização de recursos de zootecnia de precisão, em função de uma economia em escala. A evolução dos computadores, sua capacidade de memória atual e o desenvolvimento de programas computacionais têm auxiliado na aplicação de técnicas de zootecnia de precisão (NÄÄS e CURTO, 2001).

Dentre as formas de se tomar decisões complexas e com agilidade uma delas é a aplicação de sistemas de suporte à decisão que antevêm possíveis eventos desencadeadores de perdas produtivas. Um sistema de suporte à decisão pode ser compreendido como um sistema elaborado em uma base computacional (utilizando programas computacionais e periféricos), que auxiliem tomadores de decisão, confrontando problemas não estruturados em interações diretas por intermédio de dados e análise de modelos de tal forma que a decisão muda conforme a situação muda (SPRAGUE JR. e WATSON, 1989).

A previsão de eventos climáticos ou de condições ambientais mais favoráveis à ocorrência de doenças já é corriqueira para a agricultura, havendo vários sistemas disponíveis para o alerta de geadas, ocorrência de fungos, precipitação, entre outros (MARQUARDT et al., 2007; MEIRA e RODRIGUES, 2007). Contudo, para a produção animal, poucos são os sistemas de alerta disponíveis (GATES et al., 1995; HARRINGTON e BOWLES, 2004).

O ambiente térmico causador de estresse animal é formado por um grande número de variáveis que são pouco estudadas em ambiente de produção. Estações meteorológicas e dados zootécnicos históricos podem conter padrões que permitam a previsão precoce das ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte.

A modelagem matemática de ambientes complexos, onde pode haver descontinuidade e um grande número de variáveis envolvidas, exige abordagens especiais. Uma das técnicas promissoras de exploração de dados é a de Mineração de Dados que permite a modelagem de grandes volumes de dados envolvendo várias variáveis (FAYYAD e STOLORZ, 1997).

Com base no exposto, é possível formular a hipótese básica de que ondas de calor causam grande impacto na produção de frangos de corte aumentando a mortalidade. Secundariamente pode-se considerar que: 1) É possível caracterizar as ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte por intermédio de bancos de dados zootécnicos e de estações meteorológicas, podendo ser modelados por Mineração de Dados; 2) A caracterização do ambiente térmico pode indicar recursos de climatização que reduzem as perdas produtivas devido às ondas de calor; 3) É possível o anúncio da ocorrência de ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte com um mínimo de 24 horas de antecedência.

A intenção deste estudo é que esse sistema ajude produtores de frangos de corte a diminuir suas perdas produtivas, aumentando sua competitividade e reduzindo os custos de produção.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo geral prever a mortalidade de frangos de corte com um mínimo de 24 horas de antecedência.

1.1.2. Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar ondas de calor com impacto sobre a mortalidade de frangos de corte;
- 2) Gerar modelos de previsão aplicável a sistemas de suporte à decisão durante o processo produtivo de frangos de corte prevendo a ocorrência de mortalidade alta em frangos de corte devido a ondas de calor;
- 3) Indicar ações mitigadoras para a amenização do impacto de ondas de calor.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A tomada de decisão na granja avícola tem como foco a melhoria de índices produtivos zootécnicos como a mortalidade ou viabilidade, o peso corporal médio à idade, o ganho de peso corporal diário, a conversão alimentar, calculada a partir do consumo de ração e ganho de peso corporal, e o índice de eficiência produtiva, calculado a partir do ganho de peso corporal diário, viabilidade e conversão alimentar (MENDES e PATRÍCIO, 2004).

Dentre esses índices, a mortalidade ou viabilidade de um lote de frangos de corte é um dos quais pode estar relacionado com o clima, sendo o único registrado diariamente em todas as granjas. Essa mortalidade normalmente se deve ao estresse por calor, sendo que à medida que a temperatura ambiente aumenta e a capacidade da ave de dissipar calor diminui, ocorre a morte devido a um desequilíbrio circulatório e/ou respiratório (MORROW, 2001).

2.1. Estresse Térmico

Em regiões tropicais, a temperatura e a umidade do ar são dois dos principais fatores ambientais que afetam o conforto térmico das aves, sendo limitações para uma ótima produção (MACARI e FURLAN, 2001).

YAHAV et al. (1995) verificaram a resposta fisiológica de frangos de corte, entre 5 e 8 semanas de idade, à umidade relativa em ambientes de alta temperatura, observando melhores ganhos de peso corporal e consumo de ração em umidade relativa entre 60 e 65%. TEETER et al. (1985) estudaram o estresse crônico em frangos de corte expostos às altas temperaturas (32 - 41° C), constatando alcalose respiratória nesta condição, com redução do ganho de peso corporal, consumo de ração e elevação do pH sanguíneo.

As altas temperaturas são um forte agente estressor para as aves, causando hipertermia com elevação da temperatura corporal. Essa elevação da temperatura corporal, letal para as aves em casos extremos, pode ser aumentada pela ingestão de alimento em razão da produção de calor corporal (incremento calórico), decorrente da elevação da atividade metabólica, desencadeando processos associados à digestão e ao metabolismo dos nutrientes, o que causa termogênese induzida pela alimentação (JULIAN, 2005).

A produtividade ideal da ave depende da temperatura efetiva, que reflete a combinação dos efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade relativa, da radiação solar e da velocidade do vento a que a ave está submetida (MOURA, 2001), sendo que a interação de diversos fatores como a atividade física, densidade populacional e dieta, muitos dos quais de difícil controle, auxiliam no desencadeamento do estresse térmico (MACARI e FURLAN, 2001).

O frango de corte comercial, com sua genética continuamente melhorada para maior taxa de crescimento, apresenta paralelamente um aumento na produção de calor corporal, demandando meios mais eficientes e econômicos de melhorar a termotolerância destas aves.

Uma das conseqüências do estresse por calor é a ocorrência de alcalose respiratória provocada pela ofegação (TEETER et al., 1985). Em apenas 30 minutos com exposição a uma condição extrema de calor (38° C), já se observa aumento da temperatura corporal e elevação do pH sanguíneo de frangos de corte (TOYOMIZU et al., 2005).

Este estudo realizado por TOYOMIZU et al. (2005), utilizando frangos de corte expostos a 38° C, constatou que o potencial de CO₂ sanguíneo e a concentração de HCO₃⁻ diminuem significativamente após 60 minutos de exposição a esta condição. A taxa respiratória das aves aumentou de 61 respirações por minuto (r/m) para 261 r/m após este tempo de exposição.

O conceito de homeotermia em aves implica na existência de uma zona de termoneutralidade. Quando a ave se encontra em hipertermia utiliza o resfriamento evaporativo, aumentando a perda de calor latente, executado por intermédio da respiração. Por outro lado, perdas de calor sensível podem ser ampliadas por mudanças fisiológicas com o aumento das perdas urinárias (BALNAVE, 1998).

Esse mecanismo de aumento da taxa respiratória promove a redução da pressão parcial do CO₂, levando à queda do HCO₃⁻ em função da menor concentração de ácido carbônico (H₂CO₃), aumento da excreção renal de HCO₃⁻ e aumento da retenção do H⁺. A alcalose respiratória desencadeada pela ofegação altera o equilíbrio do pH sanguíneo por causa da excreção de HCO₃⁻, alterando o equilíbrio eletrolítico pelo aumento da excreção urinária de K⁺ (potássio) que está estreitamente relacionado ao Na⁺ (sódio) e à hidratação da ave (BORGES et al., 2003).

2.2. Métodos de Condicionamento Térmico

No sistema moderno de criação de aves há a necessidade do condicionamento ambiental das instalações devido à maior produtividade e à densidade de criação. O emprego de materiais de construção adequados, de cobertura, cortinas, sistemas de ventilação e arrefecimento, além de cuidados com o entorno, são pontos críticos importantes para se atingir o desempenho zootécnico esperado (PERDOMO, 2001).

Para a produção intensiva de frangos de corte e o aumento da densidade da criação, faz-se necessário o uso de equipamentos de climatização e controle ambiental. Destaca-se aqui o uso de ventiladores, pois favorecem a perda de calor corporal das aves para o ambiente por processos convectivos. Todavia, o controle da velocidade da ventilação é um dos grandes problemas de climatização na avicultura.

Dentre os sistemas de ventilação para aviários, podemos citar a natural, a forçada e a ventilação de pressão positiva e de pressão negativa no sistema tipo túnel. Estes sistemas são os mais freqüentemente observados nos aviários, destacando-se o de ventilação forçada como o mais recorrente (TINOCO, 2004).

Por ser um procedimento contínuo, tanto o excesso como a falta de ventilação podem interferir no resultado final do processo de produção de frangos (MOURA, 2001). SEVEGNANI et al. (2001) observaram que com o uso de ventiladores nas velocidades de vento de 0,3 e 1,0 m s⁻¹ houve maior perda de calor sensível e latente de frangos de corte, devido a uma ventilação mais intensa. O emprego de ventiladores foi mais eficiente nas densidades menores (9 e 16 aves m⁻²) e o início dos benefícios foram observados a partir de 20 minutos.

Diferentes sistemas de ventilação apresentam diferentes resultados na produtividade das aves. Avaliando o controle ambiental de galpões de frangos de corte, criados em alta densidade, ARADAS (2001) gerou modelos matemáticos interpretativos de diferentes sistemas de ventilação, em modelos de escala reduzida e distorcida, comparando ventilação tipo túnel e axial em galpões comerciais. O autor constatou a ventilação tipo túnel como a que propicia maior produtividade por unidade de área devido à melhor sensação de conforto térmico das aves.

A cobertura dos galpões exerce grande influência sobre a produtividade dos aviários. SILVA et al. (2006) constataram uma condição de ambiente pior e de peso corporal inferior (-8,8%) ao abate para frangos criados em galpões construídos com cobertura de cimento-amianto quando

comparado à cobertura de telhas de barro. Materiais de revestimento para isolamento da cobertura dos aviários também podem interferir em sua produtividade. Uma das alternativas no isolamento térmico de aviários é a utilização de forros de polietileno, isolando termicamente o ambiente interno do aviário e possibilitando melhor desempenho zootécnico, redução do custo de produção e melhoria da remuneração do integrado (ABREU et al., 2006).

Um estudo de MORAES et al. (1999) avaliando o efeito da cobertura de telhados de aviários sobre a carga térmica radiante, constatou a cobertura com forro de PVC como a mais eficiente em reduzir a carga térmica radiante das instalações quando comparada às instalações cobertas por telha de cimento amianto sem forro.

Outra alternativa para a melhoria do conforto térmico ambiental em climas quentes é a utilização de sistema de resfriamento evaporativo. Este sistema utiliza as trocas térmicas entre uma massa de ar e a água nela contida ou em contato pela mudança de estado físico, podendo melhorar o bem-estar de frangos de corte e melhorar a produtividade. Dentre os sistemas de resfriamento evaporativo, SARTOR et al. (2001) avaliaram a ventilação associada à nebulização, o ventilador de alta rotação associado à nebulização, somente nebulização e a nebulização acoplada a ventiladores. Estes autores constataram que os sistemas de ventilação normal e de alta rotação, associados ao nebulizador, proporcionaram os melhores desempenhos produtivos.

Em um outro estudo realizado por BUENO (2004), foram comparados dois sistemas de climatização para galpões de frangos de corte do ponto de vista do consumo de energia elétrica e do conforto ambiental. Um dos sistemas teve somente ventilação forçada e o outro foi equipado com sistema de resfriamento por placas evaporativas. O autor observou que o galpão com alta densidade (utilizando resfriamento evaporativo) consome mais energia elétrica do que o convencional (somente com ventilação). Porém, as temperaturas do ar e umidades relativas foram praticamente iguais, proporcionando conforto aos animais no mesmo espaço de tempo e área, mas com uma densidade 38% maior.

2.3. Ondas de Calor, Mudanças Climáticas e Impacto Econômico

Extremos climáticos, sejam de chuva, de frio ou de calor, são um dos responsáveis pela maioria das perdas materiais no mundo. Nos países localizados nas zonas intertropicais e mais recentemente na Europa e EUA, devido às mudanças climáticas, extremos decorrentes do calor, têm sido relatados e denominados como ondas de calor (NIENABER e HAHN, 2004).

Ondas de calor são tidas como períodos de tempo com temperaturas desconfortáveis durante, pelo menos, dois dias acima de 32° C, podendo durar até semanas (INMET, 2005). Essas ondas de calor são uma das principais causas de morte relacionadas ao clima e, considerando a possibilidade do aquecimento global, é razoável supor que a sua frequência, severidade e duração aumentarão no futuro.

ROBINSON (2001) apresenta uma definição para a ocorrência de onda de calor quando as condições de índice de calor (H_i , índice de conforto para humanos adotado pelo *National Weather Service*, EUA) máximo diurno e mínimo noturno excedem, na mesma porcentagem, os limites de conforto em um período de 48 horas. ROBINSON (2001) ainda destaca que devido às mudanças climáticas, é necessária uma clara definição das ondas de calor, resguardando variações regionais, observação esta que deve ser ainda mais importante para o estudo de seu impacto em animais.

Ondas de calor não têm uma definição padrão. Uma das formas usuais de definição é a consideração do limite de uma variável relativa à temperatura absoluta ou ao período de tempo em que a máxima diária da temperatura do ar excede este limite (ABAURREA et al., 2006).

ABAURREA et al. (2006) argumentaram ainda que as ondas de calor que ocorrem no início do verão são mais severas no desencadeamento da mortalidade em humanos e que é necessário uma definição mais dinâmica para se compreender esses eventos meteorológicos, considerando a capacidade de adaptação das pessoas quanto à elevação da temperatura.

Devido às perdas econômicas decorrentes de ondas de calor, órgãos de monitoramento climatológico e governos têm aumentado sua preocupação sobre estes eventos com a finalidade de mensurar e minimizar o seu impacto.

O relatório do *Comité des Organisations Professionnelles de la Agriculteurs de la Communauté Européenne* e do *Comité General de la Cooperacion Agricola* (COPA / COGECA, 2004), sobre o impacto da onda de calor do verão de 2003 na Europa, apresentou as perdas gerais na agropecuária

da União Européia, destacando prejuízos em torno de 42 milhões de Euros no setor de aves. Na França foram observadas perdas de aproximadamente 4 milhões de frangos, com redução de 15% da produtividade. Na Espanha, a redução do rebanho de frangos foi entre 15 a 20%, com redução na produtividade de 25 a 30%.

Nos Estados Unidos da América (EUA), os prejuízos econômicos provenientes de estresse por calor foram estimados por ST-PIERRE et al. (2003), baseados na estimativa da redução de desempenho (ingestão de ração, crescimento, produção de leite e ovos), no aumento da mortalidade e na diminuição da reprodução em bovinos leiteiros, bovinos de corte, frangos de corte, poedeiras e perus. As perdas anuais médias estimadas foram de 897, 369, 299 e 128 milhões de dólares, respectivamente, para as produções de leite, carne bovina, suína e aves. Para a estimativa destes dados, uma das ferramentas utilizadas foi o ITU (Índice de Temperatura e Umidade), calculado a partir de dados históricos de 257 estações meteorológicas americanas.

Desde 1861, a partir de quando tornou-se possível seu monitoramento, a temperatura superficial da Terra vem aumentando em até 0,6° C acima da média, o que pode ser verificado principalmente nas décadas dos anos de 1910, 1940, e 1990 (Figura 1), devido a um efeito antropogênico (FOLLAND et al., 2001).

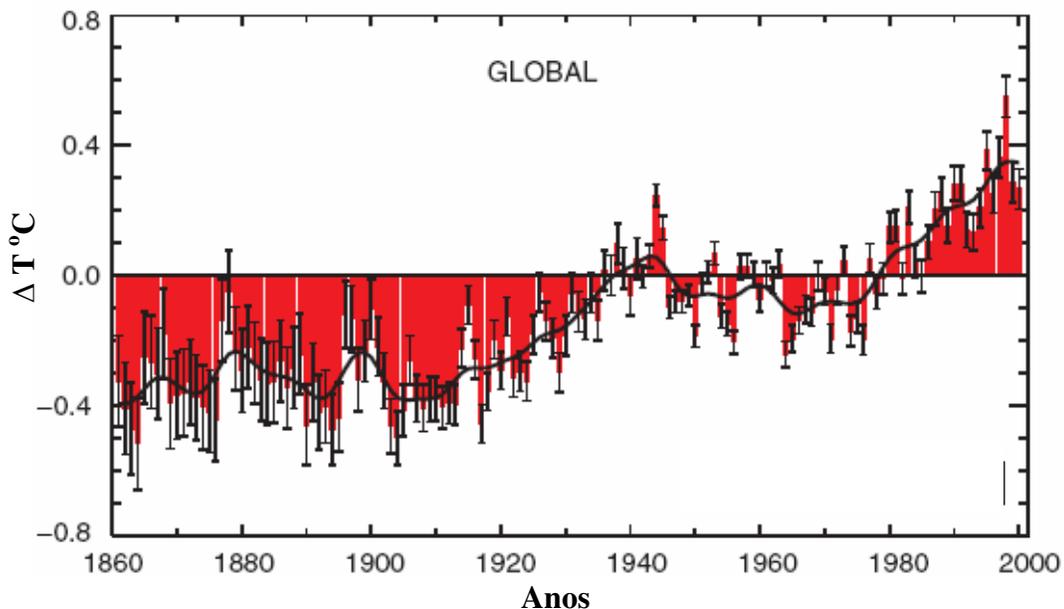


Figura 1 – Variação da temperatura superficial da Terra nos últimos 140 anos em Graus Celsius a partir da média (FOLLAND et al., 2001).

O aquecimento global já é um fato aceito por vários pesquisadores e amplamente discutido no Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, IPCC na sigla em inglês.

As mudanças climáticas, particularmente para a temperatura, implicam na mudança da distribuição estatística das mesmas, alterando o formato da distribuição normal ou mudando a posição desta curva em consequência de uma elevação da média, da variância ou até mesmo de ambas.

A Figura 2 apresenta a representação esquemática dos três cenários de variação climática: a) com a elevação das temperaturas médias, onde ocorre maior número de eventos climáticos de calor extremo; b) com aumento da ocorrência de ambos extremos de frio e calor devido a uma maior variância; c) ambos os eventos ocorrendo. A distribuição normal mais achatada ou deslocada para uma temperatura média mais elevada implica na aceitação de que esses fenômenos meteorológicos extremos tenderão a ocorrer com maior frequência (FOLLAND et al., 2001).

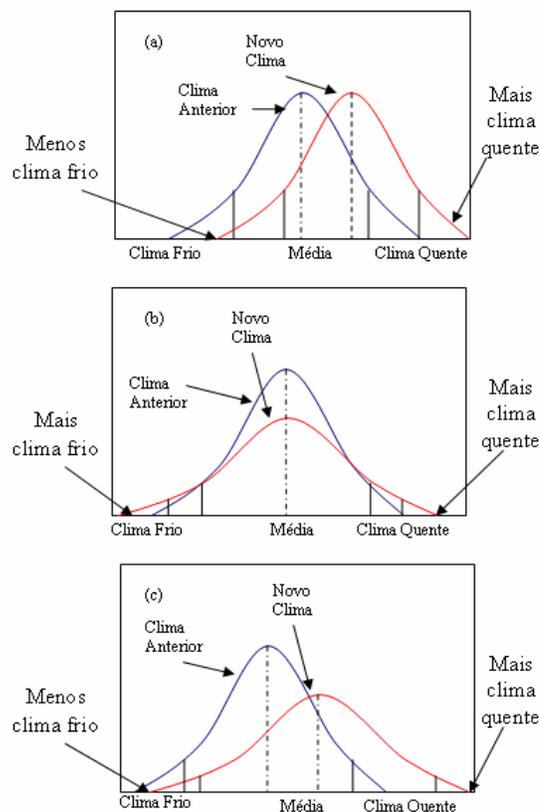


Figura 2 – Representação esquemática da distribuição de freqüência de temperaturas para três cenários de mudança climática, a, b e c (Adaptado de FOLLAND et al., 2001).

Estudos meteorológicos de BENISTON e DIAZ (2004), referentes à onda de calor na Europa em 2003, indicam que em um futuro não muito distante o clima observado naquele ano pode vir a ser comum, devido às mudanças climáticas e à elevação das temperaturas globais.

2.4. Índices de Conforto Animal

A utilização de índices baseados em temperatura e umidade ambiente demonstra uma característica de grande praticidade, já que esses dados são comumente coletados nas estações meteorológicas.

O ITU é utilizado há mais de 30 anos nos EUA para alertar pecuaristas sobre riscos de estresse devido ao calor. Esse índice, inicialmente, foi proposto para humanos e, posteriormente, adaptado para bovinos (HARRINGTON e BOWLES, 2004).

Nos EUA o ITU é utilizado para identificar a magnitude das ondas de calor por intermédio da intensidade e/ou duração, medido pelo ITU acumulado (HARRINGTON e BOWLES, 2004). Estes autores sugeriram a utilização do ITU horário, de forma semelhante ao horas graus dia de crescimento, habitualmente empregado na agricultura, como forma de melhor avaliar a onda de calor.

Os cálculos de horas grau dia são muito aplicados em agricultura para controlar o estágio de crescimento das plantas em função do clima e no controle do momento da reprodução de peixes.

NIENABER e HAHN (2004) discutem sobre o monitoramento de perdas de produtividade em bovinos decorrentes de ondas de calor através do acompanhamento das condições ambientais pelo índice de temperatura e umidade (ITU), onde são determinadas condições específicas como a normal, alerta, perigo e emergência. Essas condições são citadas como faixas de condição ambiental de alto risco de mortalidade originados direta e indiretamente do estresse calórico.

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi aplicado em pequenos animais, como coelhos, apresentando valores em média cinco pontos acima das classificações aplicadas em ovinos ou bovinos, provavelmente porque a temperatura corporal dos coelhos é maior que a desses outros animais (MARAI et al., 2002).

Outros índices de conforto térmico foram desenvolvidos por PITARELLO (1994), aplicando modelos de simulação de desempenho e condições ambientais em escala reduzida para suínos. A autora gerou índices de conforto, obtendo faixas dos índices correspondentes ao conforto térmico, servindo de suporte à decisão no controle climático de instalações.

A aplicação do ITU para aves foi adaptada por GATES et al. (1995), constatando as variações regionais do ITU nos EUA e utilizando um modelo matemático para condição térmica de construções para aviários com e sem sistemas evaporativos por nebulização.

Devido à interferência das perdas de calor por ventilação, TAO e XIN (2003) adaptaram o ITU para frangos de corte em idade de abate, ponderando temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido e, posteriormente, informações sobre ventilação incorporadas ao ITU. Os autores desenvolveram o índice denominado THVI (temperature-humidity-velocity index, ou ITUV), onde também consideram a velocidade do vento, determinando os estados de conforto térmico normal, alerta, perigo e emergência, estabelecidos a partir da variação da temperatura corporal dessas aves.

Em experimentos conduzidos em aviários experimentais, com aplicação de técnicas de manejo convencionais, CHEPETE et al. (2005) desenvolveram o ITU para frangos com idades entre 3 e 4 semanas ($ITU = 0,62 T_{ar} + 0,38 T_{bulbo\ úmido}$) e entre 5 e 6 semanas de criação ($ITU = 0,71 T_{ar} + 0,29 T_{bulbo\ úmido}$), observando maior efeito da temperatura em ambientes não controlados em região de semi-árido.

OLIVEIRA et al. (2001) avaliaram a influência do ambiente térmico, medido pelo Índice de Temperatura de Globo negro e Umidade do ar (ITGU), em frangos de corte dos 22 aos 42 dias de idade. O desempenho de frangos de corte apresentou uma resposta quadrática para a conversão alimentar com melhora para o ITGU de até 69 e aumento do ganho de peso corporal e consumo de ração para ITGU de 67 e 68, respectivamente, concluindo que ITGU maiores que 69 acarretam piora do desempenho entre 22 e 42 dias de idade dos frangos.

A utilização do índice de ITGU traz o inconveniente da necessidade da mensuração da temperatura de globo negro, dificultando estudos históricos de perdas produtivas.

2.5. Sistemas de Controle da Produção

A produção de aves para corte se tornou uma atividade industrial nas últimas quatro décadas, configurado por um processo de ciclo curto, sendo que seu período principal dura 1008

horas em média (42 dias). Isto exige grande agilidade e sistemas que apóiem as tomadas de decisões e não permite falhas no processo por parte dos técnicos.

Os sistemas de suporte à decisão, normalmente baseados em programas computacionais, podem auxiliar no gerenciamento do processo produtivo (FIALHO, 1999).

Poucos modelos de sistemas controladores têm sido propostos para a produção de frangos de corte. STACEY et al. (2004) sugeriram um sistema automático para controle de crescimento e de nutrição, baseado em modelos matemáticos e tendo como entrada o consumo de ração e sua composição (variável entrada) e o peso corporal como saída (variável saída), determinando correções na formulação da ração efetuadas em tempo real.

STACEY et al. (2004) obtiveram resultados favoráveis, como a redução do custo de alimentação e do coeficiente de variação do peso corporal das aves entre o predito e o observado, com resultado semelhante ao de controladores humanos. Para esse sistema, foram desenvolvidos algoritmos para controlar a alimentação e o peso corporal.

A utilização de modelos matemáticos tem sofrido resistência para sua aplicação na avicultura brasileira, podendo a não utilização significar a perda do status de avicultura moderna, o que refletirá na sua competitividade (PENZ Jr., 2002).

No sistema de produção de frangos de corte atualmente aplicado no Brasil, as decisões de manejo da criação têm sido baseadas na experiência do técnico em estimar ou supor o possível efeito de suas ações, levando em conta a complexidade do processo, semelhante ao observado por FROST et al. (2003).

FROST et al. (2003) argumentaram que, apesar dos processos envolvidos na produção serem tratados individualmente (climatização, manejo, sanidade e nutrição entre outros) eles estão conectados e necessitam ser manejados de forma integrada. Os autores estudaram a aplicação de técnicas baseadas em modelos e processos de controle em tempo real da nutrição em larga escala e controle do crescimento pela manipulação da dieta com até três alterações dietéticas por semana, e verificaram desempenho semelhante ao obtido com controladores humanos.

Estudo realizado por AERTS et al. (2003) propuseram um modelo de sistema integrado de manejo de frangos de corte com o objetivo de limitar o crescimento e a produção de calor a partir de um controlador baseado em modelos preditivos (*model-based predictive control*, MPC).

Neste estudo, todas as informações foram medidas continuamente e formaram o banco de dados de retorno para o sistema controlador, aplicando modelos matemáticos. Em suas conclusões,

AERTS et al. (2003) alegaram que modelos matemáticos, juntamente com programas computacionais e sensores, compõem a base desta tecnologia para monitorar bioprocessos, sendo a solução para conflitos financeiros, ambientais ou de produção.

Modelos matemáticos podem ser incorporados e integrados a um sistema mais abrangente de controle. GATES et al. (2001) realizaram um estudo identificando parâmetros climáticos de controle de ventilação em estufas e galpões de frangos de corte utilizando lógica *fuzzy* e constataram um aumento significativo na flexibilidade de controle, aplicando uma simples modificação de programas computacionais para incorporar o método de controle com plataforma *fuzzy*.

Os sistemas integrados de monitoramento e controle de processos produtivos demandam recursos para otimizarem o trabalho humano.

Os sensores de temperatura, de umidade, de velocidade do vento, as câmeras de vídeo, os microfones e outros equipamentos têm um custo mais acessível para sua utilização e constituem a base de obtenção de parte dos dados de entrada. Esses sensores têm sido aplicados para monitorar rebanhos, aumentando a gama de informações. Todavia, é necessário desenvolver sistemas para coletar e processar esses dados e utilizar a informação obtida a fim de gerar os dados de saída (FROST et al., 1997).

Em sistemas de manejo integrado da produção de frangos de corte, algumas das principais ferramentas são os modelos de crescimento e de ingestão de ração, os quais podem prever a produção esperada ou indicar correções na formulação das rações, de acordo com a comparação de informações atuais perante os valores preditos.

Utilizando programação linear, TALPAZ et al. (1986) adotaram modelos dinâmicos de otimização na alimentação de frangos de corte, identificando os limites mínimos de aminoácidos durante o crescimento abaixo do recomendado pelo NRC de aves (*National Research Council-NRC*, 1984), usualmente fixados para máximo crescimento.

SILVA (1998) desenvolveu modelos matemáticos para análise da influência das condições ambientais na produção de ovos, usando índices de conforto das aves, dentre eles o ITU, e descreveu modelos sobre a produção de ovos.

2.6. Sistemas Especialistas e de Suporte à Decisão

Alguns estudos têm demonstrado os benefícios da aplicação de sistemas de suporte à decisão, amparados por sistemas computacionais, implicando em duas categorias de benefícios que são a redução de custos e a agregação de valor ao produto final (CARLSON, 1983).

Sistemas de suporte à decisão englobam todos os que auxiliam no gerenciamento de uma unidade ou conjunto de unidades produtoras. Normalmente, esses sistemas são baseados em programas computacionais que podem atuar no gerenciamento, na otimização ou, em um grau mais complexo, simular o processo por intermédio de modelos, sendo possível incrementar o uso de programas computacionais com sistemas de coleta de dados acoplados e um sistema de automação (FIALHO, 1999).

O avanço dos computadores e dos programas computacionais, bem como a capacidade de memória dos atuais processadores, permite novas aplicações ainda pouco exploradas principalmente devido à ausência de programas computacionais adequados. Uma boa parte destes programas computacionais podem ser sistemas especialistas, que consistem em um programa computacional com inteligência artificial, desenvolvido para simular o processo de raciocínio de uma pessoa especialista em um determinado domínio (KANDEL, 1996).

A base da construção de um sistema especialista é o conhecimento de um profissional especialista sobre um domínio e todas as informações a este respeito, formando a base de conhecimento. Este conhecimento é representado no sistema por um conjunto de regras em pares condicionais tipo **SE** <condicional> **ENTÃO** <ação>, formando a base do conhecimento. A partir desta, o sistema utiliza um mecanismo de inferência que estimula a articulação entre o conjunto de regras e apresenta uma resposta que pode ser interpretação, diagnóstico, monitoramento, predição, planejamento, projeto, depuração, reparo, instrução ou controle (FÁVERO e DOS SANTOS, 2005).

Em função das empresas guardarem grandes bancos de dados, parte da base de regras dos sistemas especialistas pode ser gerada pela mineração destes dados, adquirindo novos conhecimentos mais aplicáveis.

2.7. Mineração de Dados e Aquisição de Conhecimento

Com a evolução tecnológica dos computadores e seus processadores, aliada à redução do custo de armazenamento de dados, torna-se possível o armazenamento de um grande volume de dados, maior que a capacidade humana de interpretá-los de forma convencional. Dentro dos bancos de dados podem existir conhecimentos fundamentais, expressos na forma de padrões, que podem ser relevantes dentro da área de domínio a que se referem.

Para fazer proveito desses bancos de dados, é necessária a aplicação de técnicas computacionais como as baseadas em aprendizado de máquina para a aquisição automática do conhecimento, podendo-se extrair padrões, compreender eventos e efetuar previsões.

Dentre estas técnicas computacionais, FAYYAD e STOLORZ (1997) citaram a Mineração de Dados como sendo a aplicação de um algoritmo para extrair padrões de bancos de dados, configurando um processo da Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados (KDD na sigla em Inglês). Estes autores destacam em seu artigo que a aplicação desta técnica é promissora em vários campos da ciência.

A Mineração de Dados é um campo tecnológico interdisciplinar do conhecimento que combina a inteligência artificial, a ciência computacional, o aprendizado de máquina, o gerenciamento e a visualização de dados, os algoritmos matemáticos e a estatística, promovendo metodologia diferenciada em processos de tomada de decisão, solução de problemas, análises, planejamento, diagnóstico, detecção, integração, prevenção, aprendizado e inovação (LIAO, 2003).

REZENDE et al. (2005) definiram Mineração de Dados como sinônimo de Extração de Conhecimento de Base de Dados (KDD na sigla em Inglês), constituindo-se um método de extração de conhecimento a partir de dados, com o objetivo de utilizá-lo em um processo decisório, sendo requerido para isto que o conhecimento seja compreensível aos humanos, útil e interessante ou novo.

A Mineração de Dados implica em lançar mão de tarefas de trabalho com objetivo específico. Cada uma das tarefas de Mineração de Dados envolve o emprego de um algoritmo específico que permite modelar, associar ou agrupar elementos semelhantes de um determinado conjunto de dados.

As tarefas de mineração podem ser atividades preditivas (tarefas de classificação e regressão), que consistem em generalizar exemplos ou experiências passadas, apresentando modelos capazes de reconhecer os padrões generalizados em um novo exemplo; ou atividades descritivas (associação, sumarização, agrupamento entre outras), que identificam padrões próprios em conjuntos de dados, podendo ser expressas na forma de regras de associação, sumarização ou descrição compacta de características de um subconjunto ou no agrupamento dos dados em subconjuntos finitos (REZENDE et al., 2005).

Para cada tarefa há um grande número de algoritmos que podem ser utilizados, cada qual com suas particularidades e refinamento. HILDERMAN e HAMILTON (1999) citaram 12 algoritmos de classificação, um algoritmo (Apriori) de associação com cinco diferentes versões aprimoradas, outros cinco algoritmos para a descoberta de regras de associação e outros sete algoritmos para o agrupamento de dados.

De forma geral, estes algoritmos se valem de técnicas que descrevem um modelo de extração de conhecimento como, por exemplo, a geração de regras de decisão com a construção de árvore de decisão ou as redes neurais, que podem ser utilizadas na execução de tarefas de Mineração de Dados (REZENDE et. al., 2005).

Há grande expectativa da aplicação desta técnica em agricultura e pecuária. O aprendizado de máquina, particularmente a técnica de Mineração de Dados, é considerado por alguns como um método que substitui a estatística e os sistemas especialistas, sendo que, na verdade, complementa ambos.

No caso dos sistemas especialistas, a Mineração de Dados os completa pela aquisição de conhecimento e pela formação do banco de regras. Em relação à estatística, a Mineração de Dados possibilita a análise de dados numéricos contínuos ou descontínuos e/ou dados simbólicos, além de conseguir trabalhar com hipóteses não levantadas a priori (McQUEEN et al., 1995). A estatística é ainda ferramenta fundamental no pré-processamento dos dados, visando melhorar características e precisão dos modelos.

McQUEEN et al. (1995) relatam em seu artigo as possibilidades de utilização de técnicas de Mineração de Dados, descrevendo a construção de uma árvore de decisão para o manejo de pastagens para gado de leite, utilizando o programa computacional Weka[®]. Os autores concluíram que a técnica é promissora, inclusive para o uso por parte dos especialistas do domínio.

Vários algoritmos estão disponibilizados para aplicação em tarefas de Mineração de Dados (HILDERMAN e HAMILTON, 1999). O algoritmo C4.5, desenvolvido por QUINLAN (1993), induz modelos de classificação, conhecidos como árvores de decisão (QUINLAN, 1993; QUINLAN, 1996).

O C4.5 é um algoritmo com várias implementações, dentre elas o algoritmo J48, aplicado no programa computacional Weka[®] para gerar árvores de decisão em tarefas de classificação, sendo esse algoritmo considerado um classificador estatístico.

Uma árvore de decisão é a representação gráfica de padrões reconhecíveis que permitem descrever um grande número de exemplos (observações) de um banco de dados de treinamento. Essa representação deve ser concisa e apresentar máximo poder de generalização a fim de gerar uma melhor classificação de dados desconhecidos.

Para a construção da árvore e definição dos melhores atributos preditores (classificadores), são utilizados conceitos da teoria da informação, dependente do ganho de informação (diferença na entropia) escolhendo um dos atributos que dividirá (classificará) os dados em dois grupos (SHANNON, 1948). Os atributos definem os possíveis ramos e o crescimento da árvore de decisão, sendo os mais próximos à raiz, o primeiro atributo classificador, os mais importantes e com maior poder de classificação, por agrupar o maior número de dados em uma determinada classificação. As folhas da árvore, e o final dos ramos, representam a classificação.

O algoritmo C4.5 é uma das melhores abordagens para a mineração de regras de classificação e geração de árvores de decisão citadas na literatura (HAN e KAMBER, 2006). Além de sua qualidade, esse algoritmo está implementado em programas computacionais livres como o Weka[®], e comerciais como o SAS Enterprise Miner[®].

Resultados experimentais utilizando o algoritmo J48 para a seleção de variáveis mostraram que este algoritmo mantém o poder de classificação em diferentes bancos, reduzindo significativamente o tempo de processamento (MARTÍNEZ e FUENTES, 2005).

Uma das técnicas de Mineração de Dados mais usada é a construção de árvores de decisão. Na Nova Zelândia, ZHANG et al. (2005), comparando árvores de decisão com modelos de regressão para a predição da produtividade de pastagens, obtiveram um erro quadrado médio menor e uma porcentagem maior de acerto (90% dos casos, 10,8% a mais que a regressão), utilizando árvore de decisão comparada aos modelos de regressão.

Outra conclusão importante de ZHANG et al. (2005) é que a técnica de árvore de decisão revelou a importância relativa das variáveis (atributos) como a relevância do ambiente e das técnicas de manejo da pastagem influenciando a sua produtividade. Este estudo foi realizado a partir de dados obtidos de trabalhos científicos realizados anteriormente no Sul da Nova Zelândia, juntamente com dados de estações meteorológicas daquela localidade.

Em outro trabalho realizado por ZHANG et al. (2006), os modelos de árvores de decisão para a modelagem da produção anual de pastagens foram aplicados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para ambientes com relevo montanhoso heterogêneo. Os autores confirmaram a boa capacidade de predição das árvores de decisão para este caso e verificaram que a integração de árvores de decisão com SIG foi eficiente para a predição da produção de pastos em região de grande heterogeneidade do ambiente.

A avaliação do desempenho de técnicas é de fundamental importância principalmente em sistemas cíclicos como o de Mineração de Dados, onde uma avaliação preliminar permite retornar aos passos anteriores do processo para um eventual reajuste ou re-processo.

Algumas tarefas de Mineração de Dados, como a classificação, podem gerar mais de um modelo elaborado por diferentes abordagens, dificultando a interpretação e a eleição do melhor modelo gerado. A comparação entre modelos se faz por intermédio da capacidade de acerto de classificação do modelo gerado por uma árvore de decisão.

Uma das formas de se avaliar os modelos é por intermédio de cálculos a partir da Matriz de Confusão. Esta é uma tabela que apresenta o número de casos (exemplos ou observações) do banco de dados que foram corretamente classificados como positivos ou não (verdadeiro positivo ou falso positivo) ou como negativos (verdadeiros negativos ou falsos negativos), expressos em porcentagem de acerto do modelo e da classificação (GOMES, 2002).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi dividido em três etapas distintas (Figura 3), compreendendo: 1. Caracterização da onda de calor por intermédio de Mineração de Dados em galpões não climatizados; 2. Caracterização da onda de calor por intermédio de Mineração de Dados em galpões com climatização mínima; 3. Avaliação do ambiente térmico interno de galpões e magnitude de ondas de calor. Posteriormente à definição de onda de calor e em seguida, a partir de um banco de dados zootécnico histórico, realizou-se a previsão da alta mortalidade de frangos de corte com 24 horas de antecedência.

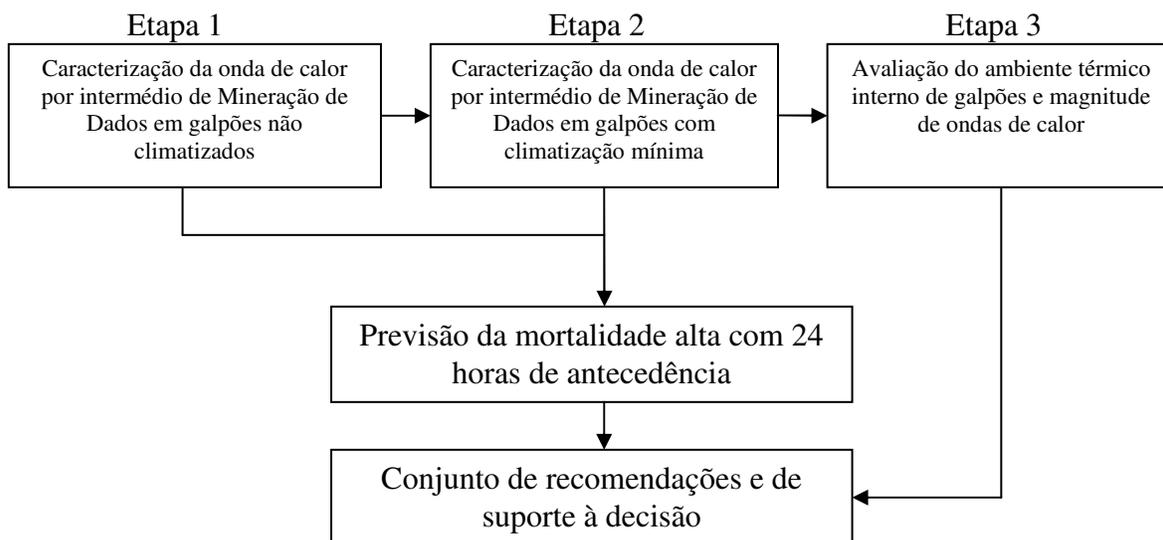


Figura 3 – Esquema do desenvolvimento do sistema de suporte à decisão.

3.1. Aquisição de Dados e Caracterização da Onda de Calor

A aquisição de conhecimento foi obtida a partir de três conjuntos de dados, dando origem a três processos (Etapas 1, 2 e 3) sucessivos de Mineração de Dados, por meio de tarefas para a classificação dos dados e construção de árvores de decisão, auxiliados de análises estatísticas complementares.

As análises de Mineração de Dados foram formadas, na sua primeira etapa (Etapa 1), através de uma análise realizada a partir de dados históricos de duas pesquisas desenvolvidas em Piracicaba-SP na ESALQ-USP, onde se relatou a ocorrência de alta mortalidade devido à onda de calor.

A segunda etapa (Etapa 2) foi a realização de um experimento com a coleta de dados meteorológicos e zootécnicos em granja comercial no município de Tuiuti-SP, próximo à Amparo – SP. A terceira (Etapa 3), consistiu na avaliação do ambiente térmico interno de galpões e a magnitude de ondas de calor a partir dos dados coletados na Etapa 2, por série histórica de integração avícola 2002-2007 e dados meteorológicos da estação meteorológica de Campinas, SP (CEPAGRI).

Posteriormente, modelou-se a previsão da mortalidade alta de frangos com 24 horas de antecedência por intermédio de três bancos de dados: 1) dados zootécnicos de 200 fichas de mortalidade e desempenho de lotes de frangos de corte de um núcleo de integrados da região de Amparo, SP; 2) dados da estação meteorológica de Monte Alegre do Sul, SP (MAS, localidade distante 20 km de Amparo); 3) dados da estação meteorológica horária de Campinas, SP (Cps).

Os dados de MAS foram cedidos pelo CIIAGRO-IAC, Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas, e os de Campinas, coletados e cedidos pelo CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura da UNICAMP.

3.2. Metodologia de Mineração de Dados

Cada processo de Mineração de Dados foi dividido em fases distintas, sucedidos de forma cíclica, a fim de permitir novas considerações e reavaliações em relação ao domínio e a inclusão ou exclusão de atributos, de acordo com a metodologia proposta pelo consórcio CRISP-DM (CHAPMAN et al., 2000, Figura 4).

A metodologia CRISP-DM (CHAPMAN et al., 2000) propõe a execução do projeto de mineração nas seguintes fases: 1) Entendimento do domínio de conhecimento ao que o estudo se refere; 2) Conhecimento e entendimento do banco de dados referente a este domínio; 3) Preparação dos dados (limpeza, construção, seleção, integração e formatação); 4) Modelagem; 5) Avaliação dos resultados.

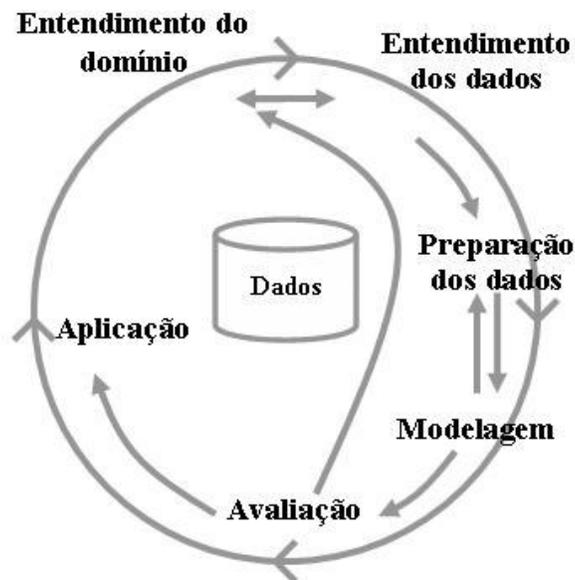


Figura 4 – Esquema de desenvolvimento de projeto de mineração de dados CRISP-DM proposto por CHAPMAN et al. (2000).

Em razão da importância para este estudo, os termos “padrão”, “atributo” e “variável” foram compreendidos como sinônimos. Estes termos podem ser descritos como uma variável, um dado quantitativo ou qualitativo, que pode representar um padrão que permite classificar um determinado evento ou observação (exemplo) do domínio de conhecimento em uma determinada classe.

As hipóteses previamente formuladas para os bancos de dados e a descrição das fases de mineração estão apresentadas nos itens 3.2.1. a 3.2.5.

3.2.1. Hipóteses Básicas para Minerações de Dados

Esta fase compreende o entendimento do domínio de conhecimento, executado pela revisão de literatura e uma série de entrevistas não estruturadas com especialistas das áreas de nutrição animal, de ambiência animal e de técnicos de criação de uma empresa de integração de frangos de corte.

Esta etapa originou as propostas das três etapas de Mineração de Dados e as seguintes hipóteses básicas para ambas:

1. Existem padrões associados entre dados climáticos e zootécnicos.
2. O ITU (Índice de Temperatura e Umidade) é um forte atributo preditor da mortalidade de frangos de corte entre 29 dias de idade até o abate.
3. Há padrões que permitem caracterizar as ondas de calor com impacto na produção zootécnica.
4. Os dados climáticos convencionais (normais climatológicas) são insuficientes para a caracterização da onda de calor e será necessária a elaboração de atributos derivados, como a amplitude térmica e os dias com ITU acima do normal, dentre outras derivações.
5. As ondas de calor que apresentam impacto na mortalidade de frangos de corte podem ser modeladas.

3.2.2. Entendimento dos Dados

O entendimento dos dados envolveu considerações feitas na fase de entendimento do domínio, durante entrevistas e revisão bibliográfica, indicando qual deverá ser a escolha dos dados a serem processados e analisados.

Nesta fase foram coletados os dados, padronizados quanto ao formato digital (tipo de arquivo txt, xml...), feita a descrição dos dados, examinado o conteúdo em número de dados dos arquivos, verificando o conjunto dos dados e a sua qualidade.

3.2.3. Preparação dos Dados

A fase de preparação dos dados foi dividida em ações ordenadas que resultaram na elaboração do conjunto final dos dados processados e modelados. As ações para a preparação dos dados foram:

- Seleção – os dados brutos foram selecionados considerando sua importância para a análise;

- Limpeza – os atributos mais importantes e potencialmente preditores foram selecionados e excluídos os de menor importância;
- Construção – os bancos de dados foram reformulados com a inclusão de atributos derivados simples, formados pelo cálculo entre atributos e por atributos de julgamento de especialistas para o desempenho zootécnico, características das instalações ou do técnico responsável da criação de forma categórica;
- Integração – após a construção, os bancos de dados foram integrados formando arquivo único dos dados;
- Formatação – os arquivos foram salvos no formato em que são utilizados para o processo de modelagem (csv, separado por vírgula).

Na fase de construção, os dados meteorológicos foram processados calculando-se o ITU horário destas localidades e efetuando-se o levantamento histórico dos últimos cinco anos, a fim de caracterizar as ondas de calor ocorridas nas regiões determinadas.

O ITU horário foi calculado pela fórmula do ITU de CHEPETE et al. (2005), Equação 1:

$$\text{ITU} = 0,71T_{\text{bs}} \times 0,29T_{\text{bu}} \quad \text{Equação [1]}$$

Onde: ITU = Índice de Temperatura e Umidade;
 T_{bs} = Temperatura de bulbo seco (°C);
 T_{bu} = Temperatura de bulbo úmido (°C).

Para o cálculo da T_{bu} , todos os bancos de dados meteorológicos foram submetidos ao programa computacional desenvolvido por MIRANDA et al. (2006), calculando essa variável a partir da temperatura do ar, umidade relativa e altitude para cada localidade deste estudo.

Nesta fase, posteriormente ao término das etapas descritas acima, devido a um provável grande número de atributos, foram realizadas análises utilizando técnicas de abordagem de seleção de atributos, com o objetivo de reduzir o número de atributos de baixa correlação com o classificador, que constituíram ruído ou tornaram o modelo de baixa compreensão.

As técnicas de abordagem de seleção de atributos utilizadas foram:

- 1 – Análise de Componentes Principais, ACP, combinações lineares (componentes principais) formando subconjunto dos atributos, preservando ao máximo as informações originais;
- 2 – Teste de χ^2 , avaliando a dependência de um atributo ao classificador;
- 3 – *Wrapper*, uma rede neural artificial que avalia conjuntos de atributos em aprendizado de máquina e verificando a acurácia de classificação em validação cruzada;
- 4 - CFS (*Correlation Feature Selection*), busca conjunto de atributos correlacionados com o classificador e evita redundância de atributos;
- 5 – InfoGain (Information Gain), avalia o ganho de informação com relação ao classificador;
- 6 - GainRatio, avalia a taxa de ganho de informação com relação à classe corrigindo “vícios de medida”.

Utilizou-se ainda uma sétima técnica alternativa de seleção de atributos, baseada no julgamento de atributos por parte de especialistas.

São considerados como especialistas as pessoas que estão envolvidas em alguma fase do domínio, neste caso, na produção de frangos de corte, e que estavam aptas a serem questionadas e a responder a respeito da relevância das informações contidas nos bancos de dados.

Com exceção do método de seleção por especialistas, os algoritmos de seleção de atributos estão disponíveis no programa computacional Weka[®] (WITTEN e FRANK, 2005), utilizado nas análises da Fase 1.

O Weka[®] é um ambiente de *software* usado em problemas de descoberta do conhecimento, composto por uma coleção de algoritmos nas áreas de aprendizado de máquina e mineração de dados. Este programa está disponível sob licença GNU (*General Public License*), enquadrado como *software* livre.

Devido ao fato de algumas classes ocorrerem em menor frequência, executou-se, para esses casos, o balanceamento entre as classes valendo-se do filtro disponível recurso *Resample* do Weka[®], técnica estatística de amostragem com reposição para balancear o número de membros por classe na seleção de amostras para os conjuntos de treinamento e teste do modelo de classificação (BREIMAN, 1996). Duas restrições foram consideradas na aplicação do filtro: a) o número total de elementos foi preservado; e b) uma amostra seguindo a distribuição Uniforme foi gerada.

Caso o modelo seja construído com a utilização deste filtro, a precisão do modelo pode ser comprometida devido a um possível enviesamento do modelo em direção às classes com um maior número de representantes.

3.2.4. Modelagem

Os dados foram computacionalmente processados através do programa Weka[®] versão 3-4 (WITTEN e FRANK, 2005). A tarefa utilizada nas análises foi a de classificação, com a construção de árvores de decisão.

O algoritmo utilizado foi o J48, uma implementação do C4.5 para tarefas de classificação, construindo árvore de decisão.

Esse algoritmo gera imagens de interpretação dos modelos na forma de árvore invertida, onde o primeiro atributo, com maior poder de classificação, é utilizado como nó raiz. A árvore segue dividindo-se em ramos que representam condicionais para a classificação até as folhas que representam a classificação.

As divisões condicionais a partir de um nó raiz **SE** atributo $x \leq$ ou $> y$, **ENTÃO** classe, estabelecem os critérios da classificação e formam os demais ramos da árvore de decisão. Desta forma, a partir do nó raiz, se estabelecem as regras do modelo na forma de Corpo (**SE**) com o conector lógico **E**, formando o antecedente, associado a um conseqüente (**ENTÃO**), denominado cabeça da regra.

Em função das várias abordagens de seleção de atributos, foram gerados vários modelos, avaliados segundo os critérios apresentados no item 3.2.5. em função da precisão e julgamento de especialistas.

3.2.5. Avaliação

O pré-processamento dos dados conforme descrito no item 3.2.3., gerou diferentes modelos por diferentes abordagens. Esses modelos foram selecionados de acordo com a avaliação comparativa entre eles em cada processo de modelagem.

A avaliação dos modelos foi realizada com base na precisão dos modelos e na precisão das classes. O cálculo da precisão se deu a partir da matriz de confusão gerada para os dados de cada conjunto de treinamento, em função das classificações tidas como Verdadeiros positivos (Vp) e Verdadeiros negativos (Vn), expressa em porcentagem de acertos na classificação (Tabela 2). À medida que o modelo apresenta maior acerto de classificação e se aproxima de 100%, ele se torna mais preciso (GOMES, 2002).

A precisão da classe foi calculada por intermédio dos valores Verdadeiros positivos (Vp) ou Verdadeiro negativo (Vn) em relação aos valores corretamente classificados mais aqueles incorretamente classificados em determinada classe e multiplicado por 100, apresentando valores entre 0 e 100%, semelhante à precisão do modelo (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz de Confusão para o cálculo da acurácia das classes e precisão dos modelos para classificação binária.

Classe	Predito como C+	Predito como C-	Precisão da classe ¹	Precisão do Modelo ²
	Verdadeiros positivos (Vp)	Falsos negativos (Fn)	$Vp / (Vp + Fn) \times 100$	$[(Vp + Vn) / N] \times 100$
	Falsos positivos (Fp)	Verdadeiros negativos (Vn)	$Vn / (Fp + Vn) \times 100$	

¹ Expresso em valores entre 0 e 1.

² N é o número de instancias (exemplos) no conjunto de teste, precisão expressa em porcentagem.

Os modelos gerados foram selecionados por intermédio do julgamento de especialistas em produção de frangos de corte, em função das seguintes características:

1. Precisão dos modelos;
2. Precisão da classificação;
3. Inteligibilidade, ou seja, a capacidade de compreensão das regras geradas pelos modelos, julgada por especialistas;
4. Complexidade das árvores de decisão, em função do número de regras e tamanho da árvore.

As diferentes abordagens de seleção de atributos, com suas respectivas precisões e o julgamento dos especialistas, apresentam-se em forma de Tabelas para a eleição do modelo e para a discussão dos resultados.

3.3. Etapas de Mineração e Caracterização da Onda de Calor

As Etapas 1, 2 e 3 apresentam os detalhes particulares de cada uma das minerações descritos nos itens de 3.3.1. ao 3.3.3. e a caracterização do ambiente térmico e magnitude das ondas de calor no item 3.3.4.

3.3.1. Etapa 1: Mineração de Dados Históricos da Mortalidade Frangos de Corte

Para esta Etapa, o conjunto dos dados foi formado a partir de dois experimentos realizados na ESALQ-USP de Piracicaba-SP, em 1997 e 1998, com 1000 aves cada, sendo a densidade de 10 aves m⁻², ambos entre os meses de novembro e dezembro, apresentando mortalidade acima do normal na quinta e sexta semanas de vida em função de ondas de calor. Os tratamentos não apresentaram diferença estatística pelo teste de T ($P > 0,05$).

Os aviários eram de alvenaria, telha de barro, equipados com cortinas, sem ventilação forçada, orientação Leste-Oeste e manejados de forma idêntica, localizados próximos (300 m) um do outro (coordenadas: Lat. 22° 42' 459" S, Long. 47° 38' 376" O, Alt. 523 m; e Lat. 22° 42' 518" S, Long. 47° 38' 060" O, Alt. 528 m; respectivamente).

Os dados meteorológicos foram obtidos nos bancos de dados da estação meteorológica automatizada do Departamento de Física e Meteorologia (coordenadas: Lat. 22° 43", S; Long. 47° 25" O; Alt. de 580 m) da ESALQ-USP (2005).

O banco de dados final para análise foi composto pela integração dos dados de mortalidade, do ambiente interno dos galpões (temperatura do ar máxima e mínima diárias) e dos dados meteorológicos e integrados em uma única planilha, sendo que cada exemplo correspondia ao conjunto de dados de uma determinada data da estação meteorológica, mais os dados zootécnicos do galpão, totalizando 28 exemplos referentes aos dados zootécnicos dos 29 até 42 dias de idade.

Tabela 2 – Lista de atributos utilizados para a formação do banco de dados final.

Atributo	Tipo	Atributo	Tipo	Atributo	Tipo
Classificador Mortalidade	0	T de bulbo úmido média	3	T mínima de 1 dia antes	3
Ano do experimento	1	T de bulbo úmido mínima	3	T mínima de 2 dias antes	3
Idade, dias	1	T de bulbo úmido máxima	3	T mínima de 3 dias antes	3
Idade, semanas	1	Amplitude da UR estação	3	T mínima de 4 dias antes	3
T máxima do galpão	1	Amplitude da T estação	3	T mínima de 5 dias antes	3
T mínima do galpão	1	UR média de 1 dia antes	3	ITU médio (CHEPETE et al., 2005)	3
		UR média de 2 dias antes	3	ITU máximo (CHEPETE et al., 2005)	3
T média	2	UR média de 3 dias antes	3	ITU mínimo (CHEPETE et al., 2005)	3
T absoluta máxima	2	UR média de 4 dias antes	3	Amplitude do ITU (CHEPETE et al., 2005)	3
Hora da T absoluta máxima	2	UR média de 5 dias antes	3		
T absoluta mínima	2	T média de 1 dia antes	3	ITGU (MOURA et al., 2004)	4
Hora da T absoluta mínima	2	T média de 2 dias antes	3	Amplitude térmica, galpão	4
Umidade relativa média	2	T média de 3 dias antes	3	T máxima do galpão de 1 dia antes	4
Umidade relativa máxima	2	T média de 4 dias antes	3	T máxima do galpão de 2 dias antes	4
Hora da unidade relativa máxima	2	T média de 5 dias antes	3	T máxima do galpão de 3 dias antes	4
Umidade relativa mínima	2	Amplitude da T máxima galpão de 1 dia antes	3	T máxima do galpão de 4 dias antes	4
Hora da umidade relativa mínima	2	Amplitude da T máxima galpão de 2 dias antes	3	T máxima do galpão de 5 dias antes	4
Velocidade média do vento	2	Amplitude da T máxima galpão de 3 dias antes	3	T mínima do galpão de 1 dia antes	4
Velocidade do vento máximo	2	Amplitude da T máxima galpão de 4 dias antes	3	T mínima do galpão de 2 dias antes	4
Hora da velocidade máxima do vento	2	Amplitude da T máxima galpão de 5 dias antes	3	T mínima do galpão de 3 dias antes	4
Precipitação	2	T máxima de 1 dia antes	3	T mínima do galpão de 4 dias antes	4
Radiação global	2	T máxima de 2 dias antes	3	T mínima do galpão de 5 dias antes	4
Radiação fotossinteticamente ativa	2	T máxima de 3 dias antes	3		
		T máxima de 4 dias antes	3	Amplitude da T máxima entre galpão e estação	5
		T máxima de 5 dias antes	3	Amplitude da T mínima entre galpão e estação	5

0 – Atributo classificador, formado pelo cálculo da mortalidade e julgamento de especialista; 1 – Atributos do experimento, dados obtidos no galpão pela medição; 2 – Atributos da estação meteorológica, dados medidos na estação meteorológica; 3 – atributos derivados da estação meteorológica, calculados; 4 - Atributos derivados dos dados dos galpões, calculados; 5 – Atributos derivados entre dados dos galpões e estação meteorológica, calculados;

O conjunto de dados destinado à análise, continha 70 atributos e foi constituído por cinco atributos oriundos dos dados originais dos experimentos; 21 atributos dos dados originais da estação meteorológica; 29 atributos derivados dos dados originais da estação meteorológica; 12 derivados dos dados dos galpões; 2 atributos derivados dos dados da estação meteorológica e dos galpões; e um atributo classificador, separando em duas categorias a mortalidade alta (MA) e normal (MN), apresentados na Tabela 2.

O atributo classificador foi elaborado em função dos dados diários de mortalidade coletados nos experimentos. A partir do cálculo da mortalidade diária e semanal, foram categorizadas as duas classes, MA ou MN, que consideraram a mortalidade diária e semanal em porcentagem frente à diária esperada para a genética utilizada segundo o manual de manejo da linhagem.

3.3.2. Etapa 2: Mineração de Dados Meteorológicos e Zootécnicos 2006/2007

O experimento desta etapa foi conduzido com a coleta de dados em granja comercial localizado no município de Tuiuti – SP (Lat. 22° 48' 056" Sul; Long. 46° 42' 046" Oeste, altitude de 807 metros), distante 65 km de Campinas-SP

A granja é composta de 14 galpões, dispostos em duas linhas paralelas (uma linha de nove e outra de cinco galpões), todos orientados na direção leste-oeste em suas cumeeiras, com dimensões variando de 72 a 150 metros de comprimento e 10 metros de largura.

Os galpões foram construídos em alvenaria, telhas de barro e piso de concreto, equipados com ventiladores, nebulizadores, cortinas laterais e forro de PVC (Figura 5). Seis deles eram equipados com comedouros automáticos e os demais, equipados com comedouro do tipo tubular, sendo todos os galpões equipados com bebedouros pendulares.

Foram acompanhados e coletados os dados de 20 lotes entre as datas de 18 de Outubro de 2006 até 22 de Fevereiro de 2007. O cronograma de entrada e saída dos lotes foi estabelecido pela empresa integradora que determinava a idade de saída dos lotes de frangos de corte em função das necessidades de abate. A densidade média praticada nos lotes foi de 13 (\pm 1) aves por metro quadrado.

A data de entrada dos lotes, a alimentação e os cuidados recebidos pelos lotes, seguiram a programação e as determinações da empresa integradora sem interferência por parte desta pesquisa.

Os dados meteorológicos foram coletados por uma estação meteorológica (Hobo Onset[®]) localizada no centro geográfico da granja (Figura 6). Os dados de pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, direção do vento e radiação solar global eram coletados a cada hora e armazenados em *datalogger* da própria estação meteorológica.



Figura 5 – Vista geral dos galpões (14) da granja localizada em Tuiuti – SP.



Figura 6 – Estação meteorológica sendo calibrada para início de coleta de dados.

Tabela 3 – Lista de atributos analisados.

Nº	ATRIBUTO ¹	Nº	ATRIBUTO ¹
1	ID galpão e lote	21	Horário da TPO máxima
2	Idade	22	UR média
3	Mortalidade absoluta	23	UR mínima
4	Mortalidade %	24	Horário da UR mínima
5	Linhagem	24	UR máxima
6	Data	26	Horário da UR máxima
7	Patm média	27	Velocidade média do vento
8	Patm mínima	28	Velocidade mínima do vento
9	Horário da Patm mínima	29	Horário da VV mínima
10	Patm máxima	30	VV máxima
11	Horário da Patm máxima	31	Horário da VV máxima
12	Temperatura média	32	TBU médio
13	Temperatura mínima	33	TBU máximo
14	Horário da temperatura mínima	34	TBU mínimo
15	Temperatura máxima	35	ITU médio
16	Horário da temperatura máxima	36	ITU mínimo
17	TPO média	37	ITU máximo
18	TPO mínima	38	Ocorrência de onda de calor
19	Horário da TPO mínima	39	Classe MA ou MN
20	TPO máxima		

1- Lista de siglas e abreviações: ID: número de identificação; Patm: pressão atmosférica; TPO: temperatura de ponto de orvalho; UR: umidade relativa; VV: velocidade do vento; TBU: temperatura de bulbo úmido; ITU: Índice de Temperatura e Umidade (CHEPETE et al., 2005); MA: mortalidade alta; MN: mortalidade normal.

Seguindo a metodologia utilizada na Etapa 1, a mortalidade diária foi a informação utilizada para a caracterização das ondas de calor com impacto em frangos de corte, observadas através da mortalidade média acima do esperado.

A mortalidade foi registrada diariamente, de forma individual para cada galpão, calculando-se a média geral de mortalidade diária para os lotes de mesma idade.

Os valores de mortalidade acima da média foram classificados segundo a ocorrência de mortalidade alta (MA). A MA foi classificada considerando uma mortalidade mínima de 0,2% no dia associado à ocorrência de condições climáticas mínimas conforme obtido na Etapa 1, sendo: 1) Temperatura máxima igual ou superior a 32 °C; 2) Temperatura média igual ou superior a 24 °C; 3) ITU médio igual ou superior a 23 °C. Os demais dias foram classificados como mortalidade normal (MN).

A classificação em mortalidade MA ou MN foi cruzada com os dados das médias diárias da estação meteorológica conforme seu dia de ocorrência, formando um novo banco de dados, analisado pela técnica de Mineração de Dados utilizando o algoritmo J48 do programa computacional Weka[®], versão 3.4.7 (WITTEN e FRANK, 2005) e seguindo a metodologia descrita no item 3.2 ao 3.2.5.

O banco de dados para a análise constituiu-se de 507 exemplos (observações) com 39 atributos listados na Tabela 3, sendo cinco atributos de identificação das instalações, idade e ocorrência de mortalidade (1 a 5), um sobre a ocorrência de onda de calor (38), um classificador (39) e os demais originados da estação meteorológica.

3.3.3. Etapa 3: Descrição do ambiente térmico interno e externo dos galpões e da amplitude das ondas de calor

Os dados da análise do ambiente foram compostos por meio de coleta de temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e Índice de Temperatura e Umidade do ar (ITU) em dois locais diferentes, a partir dos dados da estação meteorológica instalada na granja de Tuiuti_SP (Figura 7, Local Externo) e por *dataloggers* marca Hobo Onset[®] H8 (Figura 8), posicionados internamente aos galpões, sendo um ao centro geográfico e outro no centro da metade oeste dos galpões, na altura de 25 cm (Figura 7).

Os dados coletados internamente aos galpões pelos sensores *datalogger* foram a temperatura e a umidade relativa do ar. A coleta e o armazenamento dos dados eram realizados a cada hora, sendo o descarregamento dos dados efetuado no dia do abate de cada lote. Posteriormente, para cada galpão, foi calculada a média horária de cada galpão durante o período experimental para as condições normais e de onda de calor.



Figura 7 – Vista interna de galpão da granja em Tuiuti – SP com detalhe no círculo amarelo de *datalogger* registrando condições ambientais internas.



Figura 8 – Mini *datalogger* para coleta de dados ambientais internos ao galpão.

Cada observação foi a média das T, UR e ITU para cada hora do dia, calculados a partir dos períodos contínuos em dias das condições de onda de calor (OC) e de condições climáticas normais de verão (NORMAL) durante períodos quentes do ano. Para determinar as ondas de calor, utilizaram-se as descrições estabelecidas nas Etapas 1 e 2 deste estudo.

A caracterização do ambiente térmico foi estabelecida pela análise de variância (testes não paramétricos de Wilcoxon /Mann-Whitney) entre as médias de temperatura e a umidade relativa nos turnos manhã (06h00min-11h00min), tarde (12h00min-18h00min) e noite (19h00min-05h00min) e

entre os dados meteorológicos coletados pela estação meteorológica (Hobo Onset[®]) localizada no centro geográfico da granja (Figura 6) e por intermédio de sensores *datalogger* marca Hobo Onset[®] H8 (Figura 7) locados internamente nos galpões, no centro e na divisão do primeiro quarto, a 25 cm do piso.

Para a definição da amplitude das ondas de calor, fez-se igualmente a análise de variância para a comparação das médias das temperaturas máximas, das mínimas e da amplitude térmica para as condições de onda de calor normal nos locais interno e externo aos galpões.

Para as análises de variância e testes de média foi utilizado o programa computacional MINITAB[®]. As médias diárias e a descrição do comportamento horário das variáveis T, UR e ITU foram apresentados por gráficos de regressão (método de Kernel, aplicando o programa estatístico R, *General Publique License*) apresentando o comportamento das variáveis ao longo de 24 horas.

A magnitude das ondas de calor foi avaliada pelo Índice de Temperatura e Umidade do ar horas grau acumulado (ITU_{hga}), calculado pela soma de ITU acima de determinado limite (22, 23 e 24° C) segundo a equação 2.

$$ITU_{hga} = \sum ITU_e \quad \text{Equação [2]}$$

Onde:

ITU_e = 1, se ITU > limite numérico

0, caso contrário

O cálculo do ITU_{hga} da Equação 2, uma adaptação da proposta de HARRINGTON e BOWLES (2004), soma as horas de ITU superiores a um determinado limite ao longo do dia, a partir dos dados meteorológicos horários.

A partir do banco de dados da mortalidade de frangos de corte entre os anos de 2002 até 2007, foram feitas três abordagens de modelagem de árvore de decisão conforme descrito nos itens 3.2. ao 3.2.5., tendo como única variável para a modelagem em cada abordagem um dos limites de ITU de 22, 23 ou 24° C com o objetivo de avaliar qual limite de ITU tem o maior poder de predizer a mortalidade alta em frangos de corte.

Posteriormente assumiu-se a média do ITU_{hga} na condição de onda de calor dentro do limite de melhor capacidade de predição, como indicativo de magnitude de onda de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte.

3.3.4. Previsão de mortalidade de frangos com 24 e 48 horas de antecedência

Para a previsão da mortalidade alta foram utilizados os dados zootécnicos de 200 fichas de acompanhamento de lotes de frangos de corte de uma integradora da região de Amparo, SP, entre os anos de 2002 até 2007.

Os dados meteorológicos reuniam os dados da estação de Monte Alegre do Sul, SP (MAS, localidade distante 20 km de Amparo) e os dados da estação meteorológica horária de Campinas, SP (Cps).

Os dados de MAS foram cedidos pelo CIIAGRO-IAC, Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas, e os de Cps, coletados e cedidos pelo CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura da UNICAMP.

Em consequência dos dados da estação meteorológica de MAS, distante 20 km de Amparo, apresentarem apenas as medições de temperatura do ar máxima, mínima e precipitação diária, utilizou-se conjuntamente os dados da estação meteorológica da FEAGRI-UNICAMP, em Campinas, SP (Cps), estação automática mais próxima à localidade, distando 60 km de Amparo.

Os dados analisados foram as observações diárias da ocorrência de mortalidade nas granjas juntamente com as informações meteorológicas das estações mais próximas (Cps e MAS), retroativas até quatro dias da data das observações das fichas de mortalidade.

Foi possível observar um total de 1.645 exemplos de casos de mortalidade alta ou normal entre os meses de agosto a maio, excetuando-se os meses frios do ano, de 2002 até 2007.

Os atributos utilizados na modelagem são aqueles listados na Tabela 4, formados basicamente pelas médias, mínimas e máximas diárias da temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, ITU e ITU_{hga} retroativos de um até quatro dias antes da data da ocorrência da mortalidade.

O número de atributos variou de 25 até 102, quando o objetivo da análise era a descrição no dia do evento, caso da caracterização do ITU_{hga} ou a previsão com 24 ou 48 horas de antecedência respectivamente.

Os valores de ITU_{hga} entre 21 até 24 foram utilizados segundo a hipótese de que os dias anteriores às ondas de calor poderiam apresentar padrões associados aos dias da ocorrência das ondas de calor.

A mortalidade diária foi classificada em alta (MA) e normal (MN) em função da porcentagem de mortalidade média para cada ano de coleta dos dados e idade. A MA corresponde aos valores superiores à média anual para a idade mais o seu respectivo desvio padrão.

Tabela 4 – Lista de atributos utilizados na modelagem da ocorrência da alta mortalidade com 24 horas de antecedência.

SIGLA	ATRIBUTO	SIGLA	ATRIBUTO
URm	Umidade relativa média	Pam	Pressão atmosférica média
URmax	Umidade relativa máxima	Pamax	Pressão atmosférica máxima
URmin	Umidade relativa mínima	Pamin	Pressão atmosférica mínima
Tm	Temperatura média	ITUm	ITU médio
Tmax	Temperatura máxima	ITUmax	ITU máximo
Tmin	Temperatura mínima	ITUmin	ITU mínimo
MASmax	Temperatura máxima em MAS	ITU>24	ITU _{hga} maior que 24° C
MASmin	Temperatura mínima em MAS	ITU>23	ITU _{hga} maior que 23° C
MASCm	Precipitação em mm em MAS	ITU>22	ITU _{hga} maior que 22° C
MASchu	Ocorrência de precipitação (0 ou 1)	ITU>21	ITU _{hga} maior que 21° C
CONDIÇÃO	Onda de calor (1) ou normal (0)	CLASSE	Mortalidade alta ou normal

Devido à zona de conforto térmico de frangos de corte influenciar na mortalidade, os dados foram tomados apenas para o período entre 29 dias de idade até o abate, período em que ocorre mortalidade associada ao calor.

Os dados foram analisados pela técnica de Mineração de Dados, aplicando-se uma tarefa de classificação, utilizando o algoritmo J48 do programa computacional Weka®, versão 3.4.7

(WITTEN e FRANK, 2005) para a construção de árvore de decisão. Os passos de Mineração de Dados seguiram detalhadamente o procedimento descrito nos itens 3.1.1 até 3.1.5.

Foram realizadas análises para as previsões com 24 e 48 horas de antecedência mais a comparação entre a origem dos dados, se exclusivamente de Cps ou MAS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados em função das Etapas 1 e 2 de Mineração dos Dados, Etapa 3 de caracterização de ambiente térmico interno dos galpões, Etapa 4 de previsão da mortalidade alta em frangos de corte, apresentando uma conclusão preliminar de cada etapa e, ao final, considerações gerais e a conclusão geral deste estudo.

4.1. Etapa 1: Mineração de Dados Históricos da Mortalidade de Frangos de Corte

A modelagem por Mineração de Dados permitiu quatro abordagens que variaram de acordo com o critério de seleção de atributos. A primeira abordagem para a modelagem não utilizou seleção de atributos e gerou modelos de baixa precisão e pouco compreensíveis (Figura 9). Uma das justificativas para esta precisão baixa, foi a presença de atributos interpretados como ruídos, distorcendo o resultado final da análise.

A árvore gerada no modelo sem seleção de atributos e balanceamento das classes revelou como nó raiz a velocidade máxima do vento no dia (Figura 9).

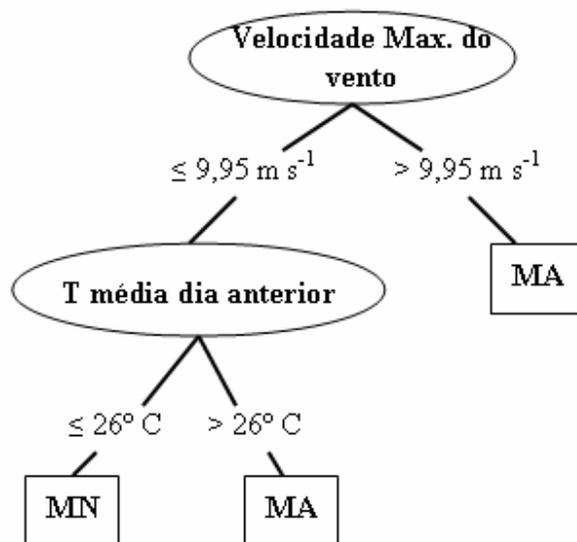


Figura 9 – Árvore de decisão gerada a partir dos dados sem seleção de atributo (Precisão total = 82,14% e Precisão da Classe MA = 50%).

Apesar de a velocidade do vento apresentar um forte impacto no conforto térmico animal, como é demonstrado em estudos realizados por TAO e XIN (2003) e SEVEGNANI et al. (2005), o atributo velocidade máxima do vento ocorreu sempre no horário noturno do dia da mortalidade, horário em que as aves já haviam morrido, entre 15 e 18 horas.

A velocidade máxima do vento não exerceu um efeito direto sobre a mortalidade, portanto, foi considerado um ruído, ou seja, um dado que causou interferência no modelo, reduzindo sua compreensão. Outro fator considerado para o descarte desse modelo, foi a baixa precisão (50%) na predição da classe MA, classe de maior importância para este estudo. Precisão inaceitável, o que tornou o modelo sem utilidade.

Uma das estratégias para melhorar a precisão dos modelos foi a utilização de balanceamento das classes, técnica de amostragem com reposição (BREIMAN, 1996), aplicado pelo filtro “Resample”, do próprio programa Weka[®], e a aplicação das técnicas de seleção de atributos.

A técnica de seleção de atributos e balanceamento das classes, utilizando recursos do programa computacional Weka[®] (WITTEN e FRANK, 2005), permitiu a obtenção de dois modelos (árvores de decisão) de acordo com a abordagem de seleção por ACP (Análise dos Componentes Principais) ou *Wrapper*, ambos com precisão total do modelo de 89,28%. Alternativamente, executou-se uma terceira abordagem de seleção de atributos, baseada no conhecimento de dois especialistas do domínio, excluindo segundo a escolha destes, os atributos julgados como não relacionados com a mortalidade, resultando um terceiro modelo (árvore de decisão) com precisão total de 85,71% (Tabela 5).

Tabela 5 – Porcentagem de precisão dos modelos e das classes MA em função da abordagem de seleção de atributos.

Precisão (%)	ACP	<i>Wrapper</i>	Especialistas
Modelo	89,28	89,28	85,71
Classe MA	83,30	83,30	76,90

Um foco importante na modelagem para este estudo foi a precisão da classificação em MA que apresentou precisão de 83,3% para as técnicas de seleção de atributos por ACP e *Wrapper* e 76,9% para a abordagem de seleção dos especialistas (Tabela 5). A precisão para a classificação em mortalidade normal (MN) para estes modelos foi sempre superior a 95%.

Os demais modelos gerados pelas outras abordagens de seleção (Qui-Quadrado, CFS, InfoGain, GainRation) foram descartados devido à baixa precisão (< 75%) e ao reduzido potencial de compreensão segundo o julgamento dos especialistas. Outro fator que levou ao descarte desses modelos foi o fato de que eles demonstravam precisão semelhante ao modelo sem seleção de atributos.

Conforme a metodologia descrita por CHAPMAN et al. (2000), esta implica no descarte dos modelos menos compreensíveis e menos importantes, do ponto de vista dos especialistas do domínio, e recomenda remodelar por meio de outras abordagens sobre o banco de dados, como a derivação de atributos e/ou seleção.

A aplicação de técnicas de seleção de atributos foi fundamental para identificar os atributos mais importantes para modelar a mortalidade de frangos de corte. De forma geral, o uso de seleção de atributos reduz a complexidade dos modelos, aumentando a precisão, simplificando os modelos, concordando com o observado por KIM et al. (2002) e GUYON e ELISSEEFF (2003). Isso justifica a baixa precisão sem seleção de atributos e o bom desempenho dos modelos gerados com a seleção.

As árvores de melhor compreensão pelos especialistas foram geradas pelas abordagens de seleção de atributos por ACP, *Wrapper* e especialistas, porém, o modelo gerado a partir da seleção por *Wrapper* apresentou menor complexidade (Figura 10a), o que pode ser vantajoso no estudo da mortalidade e monitoria a partir de estações meteorológicas.

A construção do modelo pela abordagem de seleção por *Wrapper* (Figura 10a) utilizou apenas o atributo ITU médio, calculado a partir da Equação 1 de CHEPETE et al. (2005).

O modelo da Figura 10a foi construído utilizando os dados da estação meteorológica, indicando alta mortalidade com dias de ITU médio acima de 23° C.

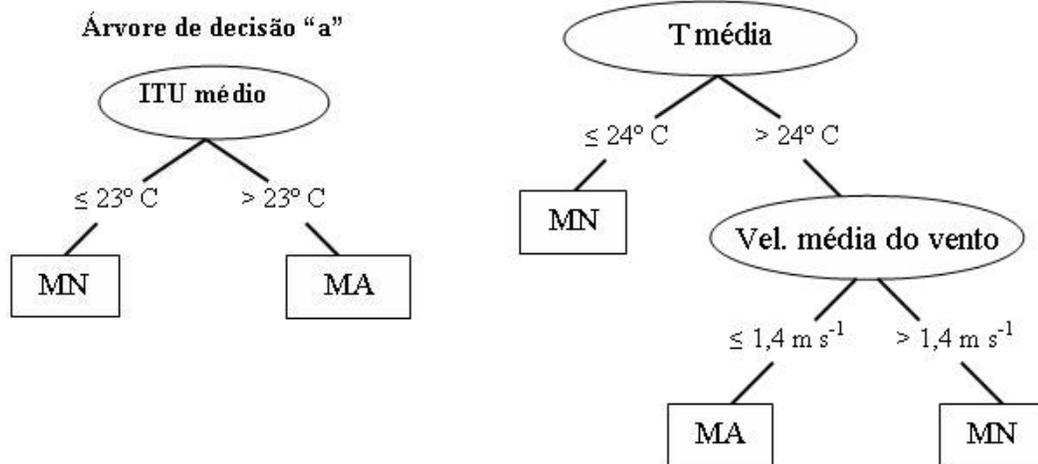


Figura 10 – Árvores de decisão construídas a partir da abordagem de seleção de atributos por *Wrapper* (a) e ACP (b) com Precisão total = 89,28% e Precisão da Classe MA = 83,3%, para ambos os modelos.

Os efeitos da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar, calculado a partir da temperatura de bulbo úmido, sobre o conforto térmico dos animais são bem conhecidos (TEETER et al. 1985; YAHAV et al. 1995; MACARI e FURLAN, 2001). À medida que a temperatura e a umidade relativa do ar aumentam, aumenta também a temperatura corporal das aves (GENÇ, 2005).

O efeito desses fatores climáticos justifica o fato do modelo da Figura 10a ser construído a partir do ITU, apresentando uma maior relação com a mortalidade alta que os demais atributos. Outro fator que pode explicar o uso do ITU de CHEPETE et al. (2005), é o fato de ter sido realizado em aviários abertos e não climatizados, em condições semelhantes às deste estudo.

As condições ambientais naturais observadas neste estudo, com média geral das temperaturas mínimas e máximas durante o período experimental de 19,3° C e 29,2° C respectivamente, podem ser comparadas às condições cíclicas do estudo de ABU-DIEYEH (2006).

No estudo de ABU-DIEYEH (2006) avaliou-se o efeito do estresse térmico crônico (temperaturas cíclicas naturais entre 21-30° C e constantes de 25 e 35° C) em frangos de corte com 8 semanas de idade, observando uma mortalidade maior ($P < 0,05$) na condição da temperatura crônica de 35° C com relação aos demais tratamentos. A temperatura cíclica, entre 21 e 30° C, apesar de não apresentar diferenças estatísticas, apresentou mortalidade numericamente superior ao que seria uma condição ambiental mais adequada, com temperatura constante de 25° C.

Neste estudo, para os dias com alta mortalidade, as temperaturas máximas do ar foram sempre iguais ou superiores a 32° C, chegando aos 36° C, com umidade relativa variando entre 70% e 90%.

A utilização de índices como o ITU na construção do modelo da Figura 10a permite ponderar tanto a temperatura quanto os parâmetros associados ao cálculo da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, seu impacto na mortalidade das aves.

Valores de referência do ITU para frangos de corte relacionados à redução de desempenho ou mortalidade são de grande importância, porém poucos trabalhos apresentam estes valores. BROWN-BRANDL et al. (1997) obteve para perus em crescimento, limites de ITU máximos de 36,7 e 36,4° C para aves entre 15 e 20 semanas de idade respectivamente.

SILVA et al. (2004) determinaram o ITU (Equação 3) para a mesoregião de Curitiba-PR, tendo como limites de conforto os valores determinados de THOM (1959). Os valores tidos de ITU ideal para idades de 5 até 7 semanas foram de 56,6 até 64. Estes valores obtidos por SILVA et al. (2004) podem servir como referência, porém, vale ressaltar que a evolução genética tornou a ave atual muito diferente em seus limites de conforto, além de ser outra forma de cálculo do ITU.

$$ITU = T_{bs} + 0.29 T_{po} - 330,08 \quad (\text{THOM, 1959}) \quad \text{Equação [3]}$$

Onde:

T_{bs} – Temperatura de bulbo seco (° K);

T_{po} – Temperatura de ponto de orvalho (° K).

Apesar de CHEPETE et al. (2005) não apresentar limites de ITU, é possível o cálculo a partir dos dados publicados neste trabalho. Podemos observar que todos os dias com mortalidade superior a 0,18% apresentados no estudo de CHEPETE et al. (2005), apontam ITU superior a 24° C, confirmando os valores obtidos no modelo da Figura 10a.

No presente estudo a mortalidade classificada como alta variou entre 0,6 até 3,3% ao dia de onda de calor, contra a média de 0,09% de mortalidade nos dias normais. Isso reforça a validade do modelo gerado pela abordagem *Wrapper* apresentado na Figura 10a.

TAO e XIN (2003) definiram as condições como: normais, alerta, perigo e emergência para frangos de corte em idade de abate (entre 43 e 49 dias de idade) baseado no índice de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento (ITUV).

O parâmetro para o desenvolvimento do ITUV foi a variação da temperatura corporal em função do tempo de exposição ao calor, onde um ITUV de 33° C exposto por mais de 3,5 horas, é suficiente para desencadear uma condição de alerta.

Na presente pesquisa, a adoção de um valor médio de ITU poderia dificultar a modelagem da mortalidade, não refletindo o número de horas com índice superior a uma condição desfavorável à ave. Por exemplo, 24 horas com temperaturas de bulbo seco próximas de 24° C, temperatura termoneutra recomendada pelo guia de manejo da linhagem de frangos COBB (2003), pode não desencadear alta mortalidade.

Para contornar esses problemas, futuros estudos deverão considerar as temperaturas horárias das estações meteorológicas para uma melhor compreensão da intensidade e magnitude das ondas de calor.

O modelo construído por ACP (Figura 10b) revelou que a temperatura média do ar maior que 24 °C e a velocidade média do vento do dia menor ou igual a 1,4 m s⁻¹ como os principais atributos preditores da MA. Isto está de acordo com pesquisas que indicam a temperatura do ar como principal fator desencadeador do estresse por calor (TEETER e BELAY, 1996; MACARI e FURLAN, 2001, CHEPETE et al., 2005), conforme já discutido, além da velocidade do vento, um dos fatores determinantes para o conforto animal.

Semelhante ao já discutido sobre o ITU, as temperaturas iguais ou superiores a 32° C, chegando aos 36° C, observadas durante as ondas de calor neste experimento, podem desencadear a alta mortalidade conforme observado por TEETER et al. (1996), ABU-DIEYEH (2006) e FURLAN (2006).

Por outro lado, a utilização da média diária da temperatura não permite avaliar as horas de estresse que a ave foi exposta. Isto implica que para diferentes períodos do ano ou localidade geográfica, este valor médio pode não indicar adequadamente a incidência de alta mortalidade.

TAO e XIN (2003) estudaram velocidades de vento entre 0,2 e 1,2 m s⁻¹ e SEVEGNANI et al. (2005) com vento entre 0,3 e 1,0 m s⁻¹, ambos verificando maior conforto térmico em frangos de corte com o aumento da velocidade do vento. Estes estudos podem confirmar o modelo da

Figura 10b, onde a velocidade média de vento do dia inferior a $1,4 \text{ m s}^{-1}$ associadas às temperaturas médias superiores a 24° C foram responsáveis pela alta mortalidade.

A construção da árvore de decisão a partir da seleção de atributos por especialistas (Figura 11), uniu informações utilizadas em ambos os modelos apresentados na Figura 10a, com base no ITU de CHEPETE et al. (2005) e a velocidade média do vento (Figura 10b), igualmente apresentando boa inteligibilidade e confirmando os mesmos valores, porém com precisão total do modelo (85,71%) e precisão para a classificação em MA (76,9%) inferiores aos modelos gerados pela abordagem de seleção de atributos por *Wrapper* ou ACP.

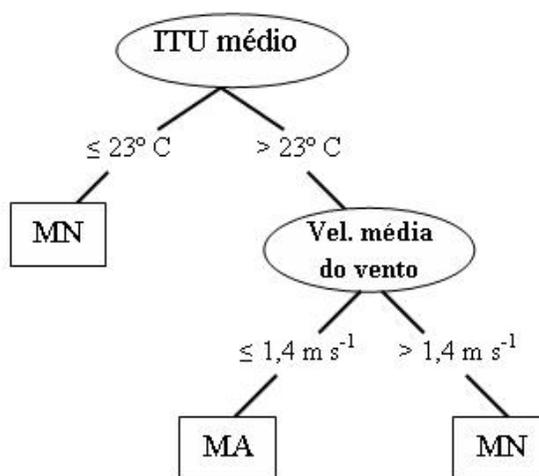


Figura 11 – Árvore de decisão gerada a partir da seleção de atributos por especialistas (Pr.= 85,71%, Pr. Classe MA= 76,90%).

Uma alternativa para se gerar modelos ainda mais simples considerando a velocidade do vento seria a inclusão de atributos com o cálculo do ITUV (Índice de Temperatura, Umidade e Velocidade do Vento) de TAO e XIN (2003), porém, estes valores teriam que ser validados anteriormente ou feitos ajustes nas equações para aves com idade ente 29 e 42 dias.

Os três modelos gerados (Figuras 10a, 10b e 11), podem ser perfeitamente aplicados na análise da mortalidade de frangos de corte. A opção entre um ou outro modelo pode ser pautada no tipo de informação que se tem disponível.

Em alguns casos, não é possível a obtenção ou o cálculo da temperatura de búlbo úmido, necessário para o cálculo do ITU de CHEPETE et al. (2005), exigindo o uso de cartas

psicrométricas ou programas computacionais. Neste caso, pode-se optar pelo modelo obtido por ACP (Figura 10b).

Para este estudo, ao contrário de outros autores (YAHAV et al., 1995), a umidade relativa do ar não foi um atributo relevante na construção dos modelos. CHEPETE et al. (2005) verificaram que a temperatura do ar afetou mais o desempenho dos frangos que a umidade relativa.

A observação dos dados meteorológicos apresentados na Tabela 6, demonstra que em um dos três casos de mortalidade alta por onda de calor (onda 2), um único dia com temperatura máxima superior a 32° C foi suficiente para desencadear a alta mortalidade. Na onda 3, observou-se dias consecutivos com temperaturas igual ou superior a 32° C, sendo que na onda 1, o segundo dia foi inferior a 32° C.

Tabela 6 – Temperaturas máximas (Tmax), médias (Tmed) e Índice de Temperatura e Umidade médio (ITUmed) em graus Célcus observados durante as ondas de calor.

Idade do lote	Onda de Calor	Experimento	Tmax	Tmed	ITUmed
39 dias	1	I	33	26	25
40 dias	1	I	30	23	23
29 dias	2	II	36	28	26
39 dias	3	II	33	27	25
40 dias	3	II	32	25	24

Para as condições deste estudo, temperaturas máximas iguais ou superiores a 32° C, média de 24° C, ITU médio de 23° C e velocidade média do vento inferior a 1,4 m s⁻¹ foram os limites desencadeadores da alta mortalidade.

Estas características, quando em comparação com a definição disponível pelo INMET (2005), indicam que as definições convencionais para humanos de onda de calor não se enquadram perfeitamente para frangos de corte. Porém, o limite estabelecido de 32° C como sendo um limiar para a incidência da onda, conforme estabelecido pelo INMET (2005), parece ser correto também para aves nas condições deste experimento.

A necessidade de reavaliar as definições de onda de calor concorda com ABAURREA et al. (2006). Estes autores afirmam que as ondas de calor que ocorrem na Europa têm perfil diferente das que ocorrem nos Estados Unidos da América.

Os modelos das abordagens por *Wrapper*, ACP e Especialistas, geraram três regras de maior interesse:

$R_{Wrapper}$ - SE ITU médio $> 23,0^{\circ} C$ ENTÃO MA (Figura 10a);

R_{ACP} - SE Temperatura média $> 24,0^{\circ} C$ E Velocidade média do vento $\leq 1,4 m s^{-1}$ ENTÃO MA (Figura 10b);

$R_{ESPECIALISTA}$ - SE ITU médio $> 23,0^{\circ} C$ E Velocidade média do vento $\leq 1,4 m s^{-1}$ ENTÃO MA (Figura 11);

Os resultados obtidos indicam que é possível modelar as perdas produtivas de frango de corte devido à mortalidade, por intermédio de dados oriundos de estações meteorológicas próximas aos galpões de criação.

O fato de os modelos deste estudo serem construídos exclusivamente utilizando os dados obtidos nas estações meteorológicas, descartando informações climáticas internas do galpão, indica uma grande subordinação (correlação) do ambiente interno dos galpões aos eventos climáticos externos quando o galpão não é climatizado, além de os dados de estações meteorológicas serem mais completos.

Previsões de tempo podem ser feitas com razoável precisão com até quatro dias de antecedência, isto permite que avicultores e integrações avícolas possam desencadear ações mitigadoras que minimizem a mortalidade e as consequentes perdas produtivas.

Estações meteorológicas de todo o Brasil geram grande número de dados que são pouco explorados para produção animal. Estes bancos de dados contêm conhecimentos que podem ser relevantes ao desenvolvimento da pecuária, reduzindo perdas produtivas, assim, é fundamental que empresas produtoras compartilhem seus dados com pesquisadores para que haja um ganho de conhecimento e uma contribuição para a redução de perdas produtivas.

4.1.1. Descoberta de conhecimentos preliminares

De acordo com os modelos obtidos e as árvores de decisão geradas conclui-se que o ITU calculado a partir de dados de estações meteorológicas pode auxiliar na modelagem da alta mortalidade de frangos entre 29 e 42 dias de idade.

Os modelos gerados podem ser aplicados a galpões não climatizados para modelar a mortalidade de frangos em épocas e regiões que apresentem clima semelhantes ao deste experimento.

Para as condições deste estudo, temperaturas máximas superiores a 32° C, média de 24° C, ITU médio de 23° C e velocidade média do vento inferior a 1,4 m s⁻¹ foram os limites desencadeadores da alta mortalidade.

Dados de estações meteorológicas próximas aos galpões não climatizados podem ser utilizados para modelar a mortalidade das aves devido ao calor extremo.

Ondas de calor que causam impacto na mortalidade de frangos de corte são diferentes daquelas que impactam humanos.

Apenas um dia com temperatura superior a 32° C pode desencadear alta mortalidade em aviários não climatizados.

As técnicas de Mineração de Dados envolvendo a seleção de atributos e classificação de dados (árvores de decisão) podem auxiliar na modelagem e descoberta de conhecimento em bancos de dados zootécnicos e meteorológicos gerando modelos de alta compreensividade.

4.2. Etapa 2: Mineração de Dados Meteorológicos e Zootécnicos 2006/2007

Durante o período estudado foram observadas na granja em Tuiuti-SP seis ondas de calor descritas na Tabela 7. As ondas de calor duraram em média 2,7 dias, variando de um até cinco dias consecutivos, confirmando os resultados obtidos na fase anterior (Etapa 1) de que apenas um dia de calor extremo é suficiente para desencadear alta mortalidade.

De forma geral os bancos de dados adquiridos se mostraram íntegros e de boa qualidade, sem necessidade de processamento específico. A modelagem gerou os modelos contidos na Tabela 8, segundo a precisão geral do modelo, a precisão da classificação em MA, sua complexidade e pela compreensão dos modelos por especialistas em avicultura. A abordagem de seleção por *Wrapper* não apresentou resultados satisfatórios, sendo descartado.

Tabela 7 – Incidência de Ondas de Calor (OC) durante o período experimental.

Nº DA OC	IDADE (dias)	DURAÇÃO (dias)
1	30 a 33	3
2	45 a 47	2
3	29 a 32	4
4	33 e 34	1
5	38 a 47	3
6	43 a 50	5

Conforme se observa na Tabela 8, os modelos de maior precisão total foram gerados pelas abordagens de seleção de atributos por análise de componentes principais (ACP), sem seleção de atributos, seleção por especialistas e abordagem de CFS (91,12% , 89,74%, 89,34% e 89,34% respectivamente). A precisão da classificação em MA seguiu respectivamente as mesmas colocações (ACP, 83%; S/Sel, 74%; especialistas, 73%; e CFS, 73%), sendo que, todos os modelos apresentaram precisão maior que 90% para a classificação em MN.

Tabela 8 - Porcentagem da precisão das classificações conforme a abordagem de seleção e o julgamento de especialistas.

Precisão	S/Sel ¹	χ^2	InfoGain	GainRatio	ACP	CFS	ESP ⁴
Modelo (%)	89,74	87,77	87,57	88,95	91,12	89,34	89,34
Classe MA (%)	74	66	66	71	83	73	73
Classe MN (%)	93	92	92	92	92	92	92
Complexidade ²	A	M	M	M	A	M	B
Compreensão ³	RE	RE	RU	BOA	RE	RE	BOA

1 – S/Sel, sem seleção de atributos.

2 – Julgamento em função da complexidade da árvore de decisão, sendo: B, baixa, ≤ 5 níveis e máximo de dois ramos principais; M, média, atender a pelo menos uma das restrições para B; A, alta, > 5 níveis e mais de 2 ramos.

3 – Compreensão: RU, Ruim, baixa capacidade do especialista em explicar as regras geradas pelo modelo; RE, Regular, capacidade do especialista em explicar parcialmente as regras geradas pelo modelo; BOA, boa capacidade do especialista em explicar todas as regras geradas pelo modelo.

4 - ESP, abordagem de seleção por dois especialistas em avicultura de corte, baseado nas informações da Etapa 1.

Apesar das maiores precisões dos modelos gerados sem abordagem de seleção e pela abordagem por ACP, estes apresentaram uma alta complexidade (oito e sete níveis em suas árvores respectivamente), gerando regras de difícil compreensão. Os dois modelos apresentaram regras não

compreensíveis, sendo julgados como regulares pelos especialistas, com dificuldade para os mesmos explicarem as regras (Tabela 8).

Ao contrário do que se observou para a abordagem de seleção por ACP e sem seleção de atributos, o modelo gerado pela abordagem dos especialistas obteve árvore com precisão pouco inferior (-1,78%), sendo menos complexo, apresentando quatro níveis, e boa capacidade de compreensão por parte dos especialistas sobre as regras geradas (Tabela 8), sendo eleito o modelo mais adequado (Figura 12), com precisão total de 89,34% e precisão da classificação em mortalidade alta (MA) de 73%.

Para a classificação da mortalidade de frangos de corte, o modelo construído apresentou o ITU máximo do dia (Índice de Temperatura e Umidade, ITUMAX) como nó raiz, formando em seguida dois ramos de classificação, ramos estes dependentes da idade da ave em dias, para classificação da mortalidade de frangos. Sendo que os ramos mais altos na árvore de decisão, principalmente o nó raiz são os que representam a maior capacidade de classificação no modelo baseado no ganho de informação.

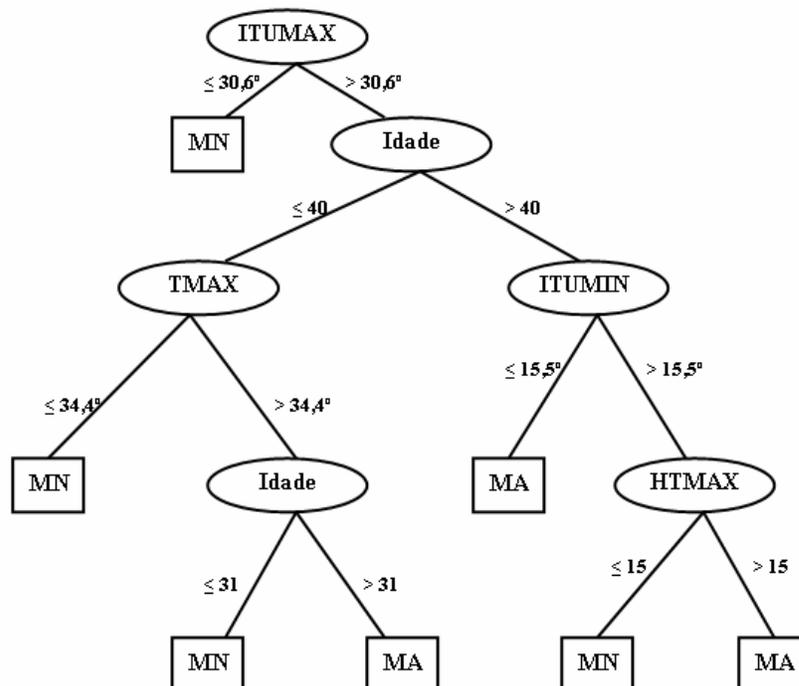


Figura 12 – Árvore de decisão para a mortalidade de frangos de corte decorrente de ondas de calor.

(ITUMAX, ITU máximo do dia em °C; ITUMIN, ITU mínimo do dia em °C; TMAX, temperatura máxima do dia em °C; HTMAX, hora da temperatura máxima do dia; idade em dias)

Os atributos utilizados na construção do modelo da Figura 12 concordam com estudos de RYDER et al. (2004) que acompanharam 50 lotes comerciais de frangos de corte, utilizando a técnica de dados por ACP. Os autores obtiveram índices de estresse de frangos e a idade da ave como os fatores de maior relação com a perda de desempenho em duas diferentes regiões produtoras.

Um levantamento de SILVA et al. (2004) determinou o ITU para a mesorregião de Curitiba-PR, tendo como limites de conforto os valores determinados por THOM (1959), apresenta valores de ITU ideal para frangos de 56,6 até 64 para 5 até 7 semanas idades. Estes valores obtidos por SILVA et al. (2004) foram diferentes dos obtidos neste estudo em função da forma de cálculo, porém, transformando-se os valores deste estudo para do ITU de THOM (1959), a média observada foi de 68,7 variando com mínima de 54,9 e máxima de 81,8, indicando que na média, os dias apresentaram condições fora do conforto das aves segundo este índice proposto por THOM (1959).

A ocorrência de dias sem mortalidade alta mesmo estando a média de ITU acima do recomendado por SILVA et al. (2004) pode reforçar que o ITU proposto por CHEPETE et al. (2005) seja mais adequado para nossas condições.

No terceiro nível da árvore de decisão da Figura 12, foram utilizadas a temperatura máxima (TMAX) e o ITU mínimo (ITUMIN) do dia. A finalização da classificação foi realizada com os atributos idade da ave em dias, e a hora da ocorrência da temperatura máxima (THMAX).

Os atributos ITU e a idade da ave tiveram grande importância na classificação para a MA. A utilização do ITUMAX e do ITUMIN na construção do modelo está de acordo com pesquisas de CHEPETE et al. (2005) que desenvolveram esse índice em condições de aviários próximas aos deste estudo, porém, estes autores não apresentaram condições mínimas ou máximas recomendadas do ITU, apenas o peso das variáveis a temperatura de bulbo úmido e a de bulbo seco no cálculo.

A utilização do ITU na construção deste modelo e no modelo da Etapa 1 reforça a importância da aplicação deste valor na monitoria de perdas produtivas em frangos de corte.

O condicional de um ITUMAX maior que 30,6° C implica em temperaturas do ar máximas do dia acima dos 30° C e chegando até os 35° C. Esta condição para a classificação de MA está coerente com o estudo de ABU-DIEYEH (2006), que constatou que temperaturas superiores a 30° C podem desencadear altos índices de mortalidade. Outra justificativa ao ITUMAX é

temperatura de conforto das aves que, acima de quatro semanas de idade, declina a níveis em torno de 24° C (TEETER e BELAY, 1996; MACARI e FURLAN, 2001; CONY e ZOCCHÉ, 2004).

A alta umidade relativa do ar (UR) é um fator agravante do estresse térmico levando à piora de desempenho em frangos de corte (DE OLIVEIRA et al., 2006). Nenhum parâmetro no modelo considerou diretamente a UR. Provavelmente em vista da redundância entre dados ou ainda, um menor poder de classificação da UR frente ao ITU e outros parâmetros. A abordagem de seleção de atributos, dentre outros motivos, retira alguns atributos considerados redundantes, que apresentam alta correlação com outros atributos, o que aumenta a precisão do modelo (OLIVEIRA et al. 2006).

Os valores de ITU (Equação 1) ponderam também a umidade relativa do ar (UR), a medida que a UR se aproxima de 100%, a temperatura de bulbo úmido, utilizada no cálculo da UR e do ITU, se iguala à de bulbo seco, tendo assim um maior impacto na elevação do ITU.

O estudo de DE OLIVEIRA et al. (2006) identificou um pior resultado do desempenho zootécnico e rendimento de carcaça para frangos de corte em condições de calor úmido (31,2° C e 75% UR) e calor seco (35,0° C e 40% UR) quando comparados a uma condição normal (25,1° C), sem referenciar a UR nesta condição. As condições observadas neste estudo e apresentadas no Tabela 9 foram intermediárias às duas condições de estresse do estudo de DE OLIVEIRA et al. (2006), tanto para temperatura quanto para a umidade relativa, o que reforça a condição obtida no modelo da Figura 12 como desencadeadora de perdas produtivas em frangos de corte.

A regra da Figura 12, com o ITUMAX maior que 30,6° C, a idade da ave superior a 40 dias e o ITUMIN menor ou igual a 15,5 °C, desencadeando a MA, apresenta importante conhecimento.

Em condições de estresse por calor cíclico não há referências sobre a ocorrência de mortalidade alta em frangos de corte acima de 4 semanas de idade relacionada às temperaturas mais baixas ou quanto à amplitude térmica. Dias com baixa nebulosidade apresentam uma elevação acentuada da temperatura ao longo do dia, em contrapartida tem uma rápida redução durante a noite. A UR acompanha inversamente a temperatura, reduzindo em resposta ao aquecimento do dia. Condição típica de ambientes desérticos.

Tabela 9 – Médias¹ da idade, mortalidade, temperaturas do ar média (Tmed) máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidades relativas do ar média (URmed), máxima (URmax) e mínima (URmin) para dias nas condições normais (NORMAL) e de onda de calor (OC).

VARIÁVEL	CONDIÇÃO		VARIACÃO (±) OC vs NORMAL
	NORMAL	OC	
Idade (dias)	39,0	39,2	0,2
Mortalidade diária (%)	0,16	0,21	0,05
Tmed (°C)	22,6	24,7	2,1
Tmax (°C)	29,4	33,4	4,0
Tmin (°C)	17,8	17,9	0,1
URmed (%)	82,9	74,3	-8,6
URmax (%)	98,8	98,4	-0,4
URmin (%)	55,7	39,0	-16,7
ITUmed (°C)	21,9	23,7	1,8
ITUmax (°C)	29,3	33,4	4,1
ITUmin (°C)	16,3	15,8	-0,5

¹ Médias observadas dos valores durante o período experimental para as condições climáticas.

Para bovinos leiteiros, uma temperatura noturna inferior, auxilia na amenização dos efeitos do estresse por calor gerado durante o dia, assim, tem-se um efeito positivo da ventilação noturna (SPIERS et al., 2001).

Os dias de onda de calor podem não refletir a condição interna dos galpões devido à inércia térmica das instalações, podendo haver uma retenção de calor nesses dias de temperaturas extremas, mantendo-a mais elevada durante a noite. Neste caso, o resfriamento noturno, semelhante ao mencionado por SPIERS et al. (2001) pode ser efetivo na melhoria do bem-estar das aves.

O ITUMAX observado durante as ondas de calor (Tabela 9) foi 4,1° C superior sendo que o ITUMIN foi apenas 0,5° C inferior. Considerando que as diferenças entre temperatura mínima dos períodos de onda de calor e normal foram de apenas 0,1° C, a condição ambiental mais relevante nesta situação, além do ITUMAX, é a UR.

A UR mínima observada na condição de OC foi de 16,7 pontos percentuais inferior à UR da condição normal (Tabela 8). Essa condição ambiental merece especial atenção e maiores estudos.

A deterioração do ambiente aéreo devido à elevação da temperatura e conseqüente redução da UR pode ser um dos fatores agravantes da alta mortalidade durante ondas de calor.

Estudo de MIRAGLIOTTA (2005) avaliou o ambiente interno de galpões de frangos de corte, verificando uma piora do ambiente aéreo após o 20º dia de criação com a ocorrência de altos níveis de amônia, maiores que 20 ppm, chegando até os 167 ppm. MIRAGLIOTTA (2005) constatou que na medida em que se elevou a temperatura, ocorreu aumento da concentração de amônia nos galpões junto com redução da UR. Essas condições térmicas podem aumentar a dispersão de fungos que ocorrem naturalmente no ambiente (MIRAGLIOTTA et al., 2002).

CHVATAL et al. (2000) caracterizaram o clima da região da cidade de Campinas-SP, distante 65 km de Tuiuti-SP, onde este experimento foi conduzido, obtendo uma classificação intermediária entre quente e úmido e quente e seco, situando-se em uma zona de transição. Os autores identificaram os meses de junho a agosto como característico de inverno e os de novembro a março como de verão, com amplitudes térmicas médias variando de 10 até 14° C.

Essa classificação de CHVATAL et al. (2000) coincide com os resultados deste estudo, conduzido entre os meses de outubro de 2006 e fevereiro 2007. Em outro estudo de CHVATAL et al. (1999) foram identificados os meses de julho, agosto, setembro e outubro como os meses com as maiores amplitudes térmicas médias, coincidindo com as menores UR médias do ano.

De acordo com o modelo da Figura 12 a classificação em MA alta foi afetada pela idade da ave. A ocorrência da MA se mostrou diferente com o avançar da idade da ave, sendo que, para as aves com idade maior que 31 e menor ou igual a 40 dias, a temperatura do ar máxima de 34,43° C foi determinante para a ocorrência desta mortalidade.

A utilização da idade da ave na construção do modelo da Figura 22 está coerente com as alterações na termoneutralidade das aves ao longo do crescimento. Guias de manejo (COBB, 2003) e vários autores (TEETER e BELAY, 1996; MACARI e FURLAN, 2001; CONY e ZOCHE, 2004) apontam estas variações desde 30 a 32 °C na primeira semana até 20 a 23 °C na sexta semana de idade.

Essa mudança na zona de termoneutralidade de frangos em crescimento justifica o aumento da mortalidade de frangos de corte à partir dos 32 dias de idade. Um estudo de TABLER

et al. (2006) em aviários comerciais verificou mortalidades semelhantes à deste estudo com um aumento gradual a partir dos 30 dias de idade. Outro estudo de RYDER et al. (2004) relacionou a idade da ave e a densidade em kg m^{-2} como os fatores que contribuíram para o aumento da mortalidade de frangos de corte.

O último atributo utilizado na construção do modelo, o horário da temperatura máxima (THMAX) pode indicar condições climáticas em que as temperaturas se elevam mais pronunciadamente ao longo do dia, com elevação da temperatura perdurando após as 15h00min. Nesta condição, o número de horas em que as aves estão submetidas a uma condição ambiental desfavorável pode ser determinante, principalmente para as aves com idade acima de 40 dias, concordando com os estudos já mencionados de MACARI e FURLAN (2001) e de CONY e ZOCCHÉ (2004).

O modelo gerou três regras de maior interesse, obtidas a partir da Figura 12 para a classificação de ondas de calor. Para frangos de corte com idade maior que 31 e até 40 dias de idade, o ITUMAX maior que $30,6^{\circ}\text{C}$ e a TMAX maior que $34,4^{\circ}\text{C}$ desencadeiam mortalidade alta (Regra R1).

R1 - SE ITUMAX > $30,59^{\circ}\text{C}$ E 31 dias > IDADE \leq 40 dias E TMAX > $34,43^{\circ}\text{C}$ ENTÃO MA;

Para frangos com idade acima de 40 dias, o ITUMAX maior que $30,6^{\circ}\text{C}$ e o ITUMIN menor ou igual a $15,5^{\circ}\text{C}$ foi suficiente para desencadear a mortalidade alta (Regra R2).

R2 - SE ITUMAX > $30,59^{\circ}\text{C}$ E IDADE > 40 dias E ITUMIN \leq $15,53^{\circ}\text{C}$ ENTÃO MA;

A mortalidade alta para frangos de corte com mais de 40 dias de idade ocorreu também quando o ITUMin foi maior que $15,5^{\circ}\text{C}$ e a hora da temperatura máxima foi superior às 15h00min (Regra R3).

R3 - SE ITUMAX > $30,59^{\circ}\text{C}$ E IDADE > 40 dias E ITUMIN > $15,53^{\circ}\text{C}$ E THMAX > 15h00min ENTÃO MA.

Os diferentes padrões de onda de calor identificados neste estudo concordam com as afirmações de ABAURREA et al. (2006), indicando a necessidade de uma classificação específica para frangos de corte em função do tipo de alojamento.

A definição de ondas de calor, principalmente considerando a possibilidade de mudanças climáticas, torna-se fundamental, pois se espera um aumento na frequência, duração e severidade deste evento climático, o que só é possível verificar por intermédio de sua correta definição (ROBINSON, 2001).

A localização geográfica com suas respectivas características regionais deve ser considerada, o que reforça a importância do estabelecimento de padrões locais de ondas de calor com impacto na produção de aves.

A técnica de mineração de dados para esta etapa se mostrou adequada e permitiu a descoberta de conhecimento novo e útil, assim como descrito na literatura (FAYYAD e STOLORZ, 1997; REZENDE et. al., 2005).

As fases de pré-processamento neste estudo, envolvendo a seleção e preparação dos dados, foram as que demandaram maior tempo e atenção na execução do projeto de Mineração de Dados. FEELDERS et al. (2000), CHAPMAN et al. (2000) e WITTEN e FRANK (2005) destacaram os mesmos aspectos da execução de projetos de Mineração de Dados afirmando o pré-processamento como o de maior demanda de trabalho.

A aplicação de técnicas de Mineração de Dados na exploração e análise de dados zootécnicos mostrou-se eficiente e promissor, abrindo perspectivas para novos estudos.

Por outro lado, as observações referentes à aplicação desta técnica concordam com considerações de FEELDERS et al. (2000), que desfazem a ideia comum de que esta é uma análise automatizada e que exige pouco trabalho ao usuário, afirmando ao contrário, haver um grande volume de trabalho demandado principalmente no pré-processamento.

4.2.1. Descoberta de conhecimentos preliminares

A classificação da mortalidade alta devido a ondas de calor para frangos de corte com idade entre 29 dias até o abate e criados em aviários com climatização mínima, apresentou uma precisão do modelo de 89,34% e uma precisão da classificação em mortalidade alta de 73%.

As ondas de calor afetam diferentemente conforme as idades da ave. Não houve impacto na mortalidade para aves com idade entre 29 e 31 dias.

O ITU máximo superior a 30,6° C foi a principal característica de dias de onda de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte maiores de 31 dias de idade. Frangos de corte com idade maior que 31 e até 40 dias, desencadearam mortalidade quando a temperatura máxima do dia foi superior a 34,4° C.

Para frangos de corte com idade superior a 40 dias houve duas condições desencadeadoras de mortalidade alta: 1) ITU máximo superior a 30,6° C e o ITU mínimo igual ou inferior a 15,5° C; 2) ITU máximo superior a 30,6° C e o ITU mínimo superior a 15,5° C e a hora da temperatura máxima superior a 15h00min.

As ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte duraram em média 2,7 dias.

4.3. Etapa 3: Ambiente térmico dos galpões e magnitude de ondas de calor

A comparação do ambiente térmico entre os dias normais (NORMAL) e de onda de calor (OC) para os turnos da manhã (6-11h00min), da tarde (12-18h00min) e da noite (19-05h00min) está apresentado na Tabela 10. Os locais interno e externo aos galpões representam as médias de períodos contínuos de dias normais ou de OC medidos na estação meteorológica e em *dataloggers* instalados nos galpões, que colheram as variáveis de temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), e para o índice de Temperatura e Umidade (ITU).

Internamente aos galpões, nos turnos da Manhã, apenas a T e o ITU apresentaram diferenças significativas ($P=0,03$ e $P=0,01$ respectivamente) entre as condições de OC e normal, sendo que a UR não apresentou diferenças significativas ($P>0,05$; Tabela 10). Externamente aos galpões as condições ambientais não apresentaram diferenças significativas, porém, observa-se uma tendência de maior T e ITU ($P=0,08$ e $P=0,06$ respectivamente).

Externamente, durante o período da Noite, a UR e a T não apresentaram diferenças significativas ($P>0,05$), contudo, o ITU foi significativamente superior ($P<0,01$) na condição de OC.

Tabela 10 – Médias das condições ambientais e probabilidades para as condições de onda de calor e normal de verão medidas internamente e externamente aos galpões.

	Manhã			Tarde			Noite		
	NORMAL ¹	OC ¹	P ⁵	NORMAL ¹	OC ¹	P ⁵	NORMAL ¹	OC ¹	P ⁵
Interno aos Galpões ³									
T ²	24,94	26,45	0,03	28,58	31,69	0,00	24,15	25,15	0,00
UR ²	64,65	64,69	0,98	51,26	44,92	0,08	71,58	72,47	0,38
ITU ²	24,04	24,96	0,01	26,65	28,85	0,00	23,12	24,03	0,00
Externo aos Galpões ⁴									
T ²	25,29	27,12	0,08	26,66	31,42	0,00	19,43	29,90	0,20
UR ²	72,33	64,00	0,10	66,00	49,25	0,00	97,90	95,62	0,08
ITU ²	23,70	25,50	0,06	25,18	28,86	0,00	23,12	24,03	0,00

1 - NORMAL = condição ambiental normal de verão, não causadora de alta mortalidade em frangos de corte; OC = condição de onda de calor causadora de alta mortalidade em frangos de corte.

2 - T = temperatura do ar; UR = umidade relativa do ar; ITU = Índice de Temperatura e Umidade do ar (CHEPETE et al., 2005).

3 - Medições internas aos galpões.

4 - Medições em estação meteorológica locada na granja.

5 - Probabilidade pelo teste de Wilcoxon/Mann-Witney.

O período da tarde apresentou as maiores diferenças ($P < 0,01$) para a T e ITU, evidenciando na condição de OC um ambiente pior, com maior T e ITU. A UR somente apresentou diferenças significativas externamente aos galpões, internamente houve apenas uma tendência ($P < 0,08$) de UR mais baixa durante a tarde para a condição de OC, provavelmente devido umidade retida na cama e o vapor de água produzido pelas aves durante a ofegação.

As médias observadas na Tabela 10 reforçam uma condição térmica pior para as aves durante as ondas de calor ao longo do dia, em todos os turnos, principalmente com relação ao ITU, fator desencadeador das altas mortalidades observadas nos estudos das Etapas 1 e 2.

CHVATAL et al. (2000), caracterizaram o clima da região de Campinas, identificando médias das temperaturas máximas acima de 28,5° C entre os meses de outubro a março, período em que foram coletados os dados deste estudo na granja.

Apesar de externamente a UR revelar diferenças somente no período da Tarde, nos demais turnos, houve uma tendência de menor UR (P entre 0,10 e 0,08).

Nas caracterizações do clima da região de Campinas – SP, CHVATAL et al. (1999) e CHVATAL et al. (2000) identificaram médias da UR entre 64,3 e 68,2% para os meses de julho a outubro. As amplitudes térmicas médias entre as mínimas e máximas identificadas por estes autores foram superiores entre 11,2 e 12,9° C nestes meses, início dos meses mais quentes do ano, já nos demais meses as médias variaram entre 10,1 a 10,8° C. As amplitudes térmicas observadas durante a coleta dos dados deste estudo foram maiores para as ondas de calor tanto externa como internamente aos galpões (P<0,05), reflexo de uma elevação mais acentuada das temperaturas observadas nas condições de OC atingindo temperaturas máximas superiores (P<0,05) tanto interna como externamente aos galpões (Tabela 11), provavelmente propiciada por dias de menor nebulosidade e baixa UR.

Tabela 11 – Temperaturas médias das mínimas, das máximas e da amplitude térmica nas condições de onda de calor (OC) e normal (NORMAL).

TEMPERATURA (° C)	INTERNA		EXTERNA	
	OC (CV)	NORMAL (CV)	OC (CV)	NORMAL (CV)
MÍNIMA ¹	23,25 (4,11) ^{aA}	22,23 (9,9) ^{aA}	17,81 (7,1) ^{bB}	17,49 (12,0) ^{bB}
MÁXIMA ¹	32,67 (2,22) ^{aA}	29,60 (8,38) ^{bB}	33,01 (2,66) ^{aA}	29,69 (5,57) ^{bB}
AMPLITUDE ¹	9,42 (13,9) ^{aA}	7,37 (29,47) ^{bA}	15,20 (10,6) ^{cB}	12,20 (27,7) ^{dB}

¹ – Letras minúsculas diferentes na mesma linha representam diferenças significativas pelo teste de *t* entre as condições de onda de calor (OC) e normal (NORMAL) com P<0,05. Letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferenças significativas pelo teste de *t* entre os locais de medição externo e interno com P<0,05. Não houve interação significativa (P>0,05) entre condição e local.

A menor UR acarreta uma maior elevação das temperaturas do ar devido à menor resistência térmica do ar contendo menos umidade. ROBINSON (2001), ROSSATO et al. (2003) e ABAURREA et al. (2006) destacam que as ondas de calor que ocorrem no início dos períodos quentes do ano causam maior impacto na mortalidade de humanos e animais. É possível que esta mortalidade maior no início dos meses quentes do ano seja decorrente destas características ambientais.

As temperaturas médias nas condições de OC, principalmente no período da Tarde, justificam o aumento da mortalidade, uma vez que a temperatura de conforto das aves está em torno dos 24° C e 25° C na quarta semana de vida e entre os 21° C e 22° C na sexta semana de vida (FURLAN e MACARI, 2002; CONY e ZOCHE, 2004; DE OLIVEIRA et al., 2006; ABU-DIEYEH, 2006).

De acordo com o comportamento horário da temperatura nos locais externo e interno aos galpões, as temperaturas do ar na condição de OC foram sempre superiores às dos dias com condições normais, entretanto, se observa uma maior diferença nos horários entre 10h00min e 16h00min do dia, horários de pico de calor, representando um maior número de horas de estresse por calor sofrido pela ave ao longo do dia (Figura 13).

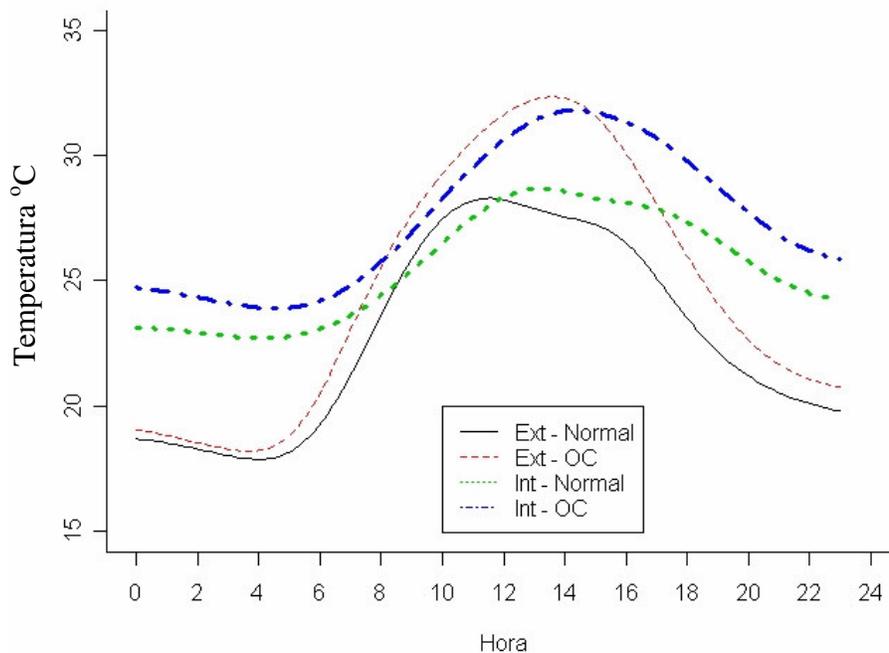


Figura 13 – Temperaturas do ar horárias nos locais externo e interno aos galpões para as condições normais e de onda de calor.

Os dias de OC apresentaram o horário médio da temperatura máxima após as 13h00min, no mínimo 2 horas depois para a condição normal. Este comportamento reforça a validade do modelo apresentado na Etapa 2 indicando uma piora no ambiente térmico com aumento de horas de estresse na condição de OC observado internamente aos galpões (Figura 13).

Um estudo CHEPETE e TSHEKO (2006) em aviários termicamente pouco isolados em Botsuana, no sul do continente africano, verificou a dinâmica térmica durante períodos de frio e de calor. Nestes aviários, as temperaturas internas se mostraram sempre superiores quando comparado às externas durante os períodos quentes do ano ao longo do dia. Esta diferença entre os resultados de CHEPETE e TSHEKO (2006) e os de Tuiuti-SP, desta pesquisa, são atribuídos às diferenças entre o isolamento térmico das instalações, sendo que no caso do Brasil, possivelmente, o isolamento das instalações sejam melhor que o citado pelos autores.

Em ambas as condições de OC ou normal, a partir do horário de temperatura máxima, há uma retenção de calor nas instalações, observando-se um menor decréscimo da temperatura interna que a externa, devido à própria inércia térmica das instalações. A produção de calor das aves aliada ao isolamento dos galpões pode explicar este efeito, gerando esta inércia.

Este tipo de comportamento das temperaturas internas e externas dos aviários observadas neste estudo e contrariamente no de CHEPETE e TSHEKO (2006) reforçam a importância do isolamento das instalações. Por outro lado, nas condições de OC, o isolamento térmico ocasionou uma maior inércia, mantendo a temperatura interna dos galpões elevada e dissipando gradualmente o calor ao longo do final da tarde e noite, conforme pode ser observado na Figuras 13.

Este comportamento pode refletir um isolamento ainda insuficiente dos galpões, sendo mais evidente nos dias em que há uma maior carga térmica radiante sobre as instalações, condição típica de dias sem nebulosidade, com maior elevação da temperatura e rebaixando a umidade do ar.

Neste estudo, apesar de os aviários serem cobertos com telhas de barro e equipados com forro de PVC, uma condição mais adequada conforme observado por MORAES et al. (1999) e por ABREU et al. (2007), o isolamento propiciado parece ser ainda insuficiente para as condições de onda de calor. O estudo de MORAES et al. (1999) aponta que os melhores tratamentos do ponto de vista do conforto das aves, medido em ITGU (Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade), foram com a aspersão de água no telhado seguida pela utilização de forro de PVC.

Em comparação aos resultados obtidos neste estudo, é provável que um dos efeitos conjuntos da aspersão de água no telhado na melhoria do ITGU, conforme observado por MORAES et al. (1999), seja oriundo da elevação da UR do ar, com a retirada de calor do ar provoca-se o resfriamento evaporativo. Isso reforça a recomendação de que para as ondas de calor, um dos meios mais importantes de mitigação é a nebulização associada à ventilação, concordando ainda com os estudos de RYDER et al. (2004).

Entre as 16h00m com ondas de calor até as 08h00min do dia seguinte, uma das estratégias de mitigação seria o uso de ventiladores que permitissem em máximo grau a renovação do ar interno ao galpão, visto que as temperaturas externas do ar são menores que as internas (Figura 13), em contrapartida, a UR não permite boa eficiência do sistema de resfriamento evaporativo a partir das 21h00min (Figura 14).

O comportamento da UR ao longo de dias normais e de OC, na condição externa, foi inferior em praticamente todo o dia, chegando a se igualar durante períodos da noite à condição normal. Internamente aos galpões, a UR apresentou comportamento semelhante ao externo, porém, durante a noite, apresentou na condição de OC, UR inferiores que aquelas observadas nos dias normais (Figura 14).

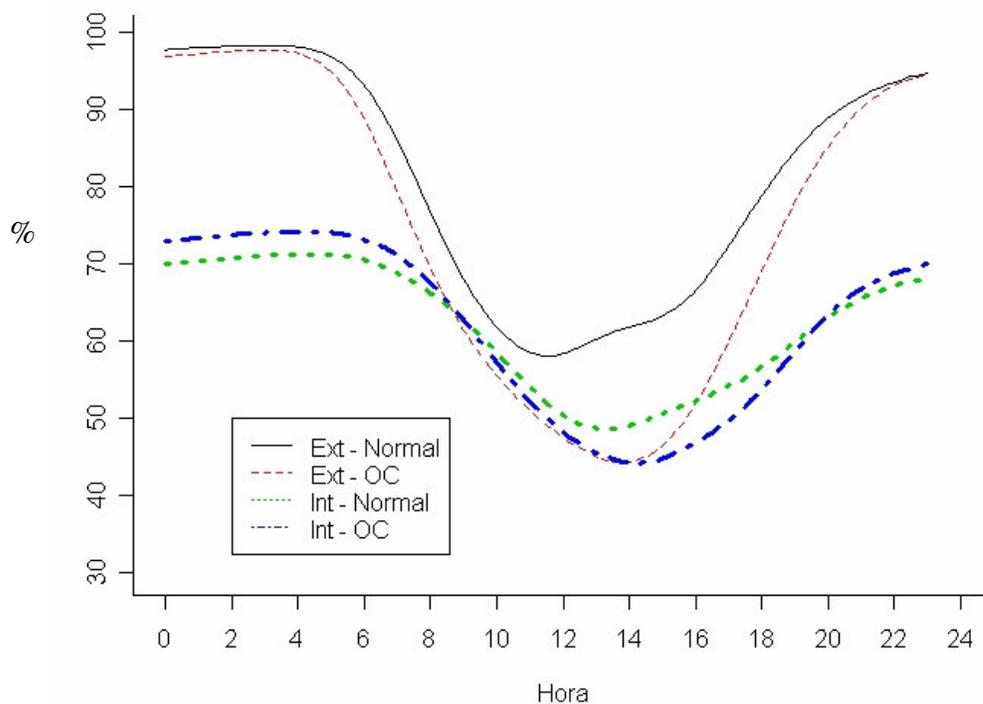


Figura 14 – Umidades relativas do ar horárias nos locais externo e interno aos galpões para as condições normais e de onda de calor.

A caracterização do ambiente térmico observado neste estudo é coerente com estudos de CHVATAL et al. (1999) realizados para a região de Campinas, SP, observando um clima de transição entre seco e úmido. No estudo de CHVATAL et al. (1999), identificaram-se os meses de julho a outubro como sendo do grupo 3 (Tabela de Mahoney, UR entre 50 e 70%), sendo os demais meses do grupo 4 (UR > 70%), o que também é coerente com as observações neste estudo.

Este comportamento da UR conforme observado na Figura 14 reforça uma condição de maior estresse para as aves que se perdura durante a noite na condição de OC. Os dias com UR baixa podem refletir uma deterioração da qualidade do ar dentro das instalações, com aumento dos níveis de poeira e gases.

Esta condição climática interna aos galpões reforça os resultados obtidos na Etapa 2, com o ITU mínimo estando relacionado a dias de menor UR, confirmando a possibilidade de uma deterioração severa da qualidade do ambiente aéreo conforme observado por MIRAGLIOTTA, (2005) e MIRAGLIOTTA et al. (2002).

Em contrapartida, a UR baixa permite a intensificação da utilização de sistemas de nebulização juntamente com uma ventilação adequada (entre 10h00min e 16h00min), podendo amenizar a mortalidade de frangos durante ondas de calor (SARTOR et al., 2000).

Os piores valores de ITGU observados por SARTOR et al. (2000) ocorreram quando as UR dentro dos galpões foram menores.

Durante os dias de incidência de OC as UR foram 6,34 (interno) e 16,75 (externo) pontos percentuais inferiores para a UR média no turno da tarde quando comparados aos dias normais. Entretanto, a UR média da Noite, horário da UR máxima do dia, foi numericamente superior em 2,28 pontos percentuais à condição normal externamente e igual internamente aos galpões (Tabela 9).

Estratégias apropriadas do horário de início do acionamento dos equipamentos de climatização, entre 09h00min e 10h00min, perdurando até 20h00min e 21h00min, orientados pelas variáveis ambientais, particularmente para a combinação de T alta e UR baixa ou moderada, como as observadas neste estudo, podem apresentar melhores resultados, evitando a elevação acentuada da temperatura até o horário de máxima e redução mais rápida das condições ambientais desfavoráveis. Sensores externos ao galpão podem permitir um controle mais eficiente e efetivo na melhoria do ambiente interno dos galpões.

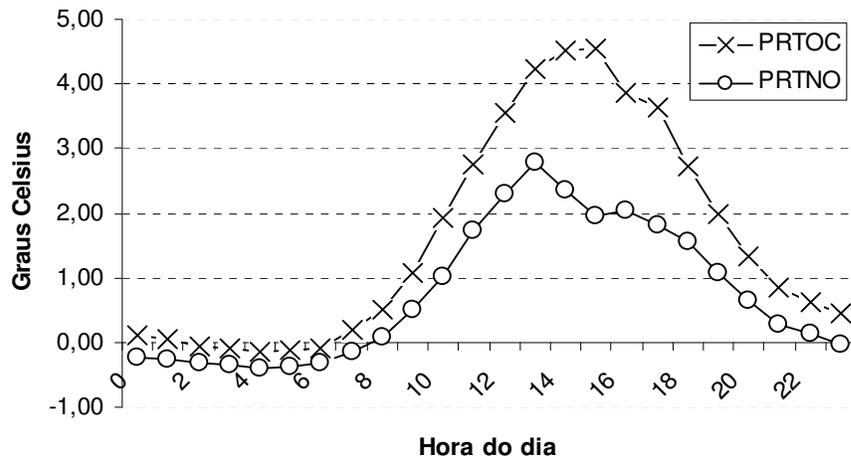


Figura 15 – Potencial de redução de temperatura por resfriamento evaporativo para as condições de onda de calor (PRTOC) e para dias normais de verão (PRTNO).

Estas recomendações podem ser reforçadas pelo potencial de redução de temperatura do ar (PRT) por equipamentos de resfriamento evaporativo conforme apresentado na Figura 15, calculado segundo ALBRIGTH (1990) (Equação 4), a partir da temperatura média horária interna dos galpões, da temperatura ideal para as aves e a UR interna do galpão.

$$PRT = \Delta T \times (\Delta UR/100)$$

Equação [4]

Onde:

PRT = potencial de redução de temperatura do ar

$$\Delta T = T_{ar\ galp\tilde{a}o} - 24^{\circ} C$$

$T_{ar\ galp\tilde{a}o}$ = temperatura do ar média horária interna ao galpão

24° C = temperatura limite de conforto

$$\Delta UR = 100 - UR\ galp\tilde{a}o$$

$UR_{galp\tilde{a}o}$ = Umidade relativa média horária do ar interna ao galpão

No cálculo para elaboração da Figura 15 foi utilizada a temperatura de 24° C como temperatura ótima de conforto (CONY e ZOCCHÉ, 2004). Uma importante diferença entre as condições de OC e normal conforme observado na Figura 15 é que, durante as ondas de calor, o potencial de redução da temperatura do ar aumenta em função da menor UR, principalmente nas horas mais quentes do dia.

Durante as ondas de calor, a partir das 09h00min, é possível obter-se uma eficiência de redução da temperatura próxima de um grau Celsius com a utilização de nebulização. A partir deste horário a temperatura e o potencial de redução das mesmas são crescentes ao longo do dia. Isso torna ainda mais importante evitar o aquecimento das instalações buscando reduzir ao máximo o pico da temperatura, amenizando os efeitos da inércia térmica. As ações de resfriamento evaporativo podem perdurar até as 21h00min, ainda com potencial de redução da temperatura.

O potencial de redução de temperatura observado na Figura 15 está de acordo com estudos de RYDER et al. (2004) que identificaram a utilização de nebulizadores como um fator mais importante do que o aumento da velocidade de ventilação na redução do estresse térmico e na melhoria da produtividade de frangos de corte.

A necessidade de associar ventilação, nebulização e o isolamento do aviário foram recomendados também por ABREU e ABREU (2007) em estudo nas condições observadas em Dourados, MS. HUNKE et al. (2001) recomenda o resfriamento evaporativo como uma das ações capazes de melhorar o estresse térmico de animais, reduzindo o ITU durante ondas de calor.

O ITU, índice calculado a partir da T do ar e da T de bulbo úmido, diretamente relacionado com a UR, apresentou comportamento semelhante ao da T em ambas as condições (Figura 26). Este comportamento semelhante ao da T é justificado pelo grande peso desta variável, de 71%, no cálculo do ITU (Equação 1).

Tendo como referência o ITU médio de 23° C, obtido na Etapa 1 deste estudo em aviários não climatizados, a partir das 09h00min para a condição normal, inicia-se uma condição ambiental desfavorável à ave que perdura até as 22h00min. Em contrapartida, na condição de OC, durante praticamente todo o período, com exceção da primeira hora do dia até as 07h00min, a condição de ITU se mantém sempre superior a 23° C.

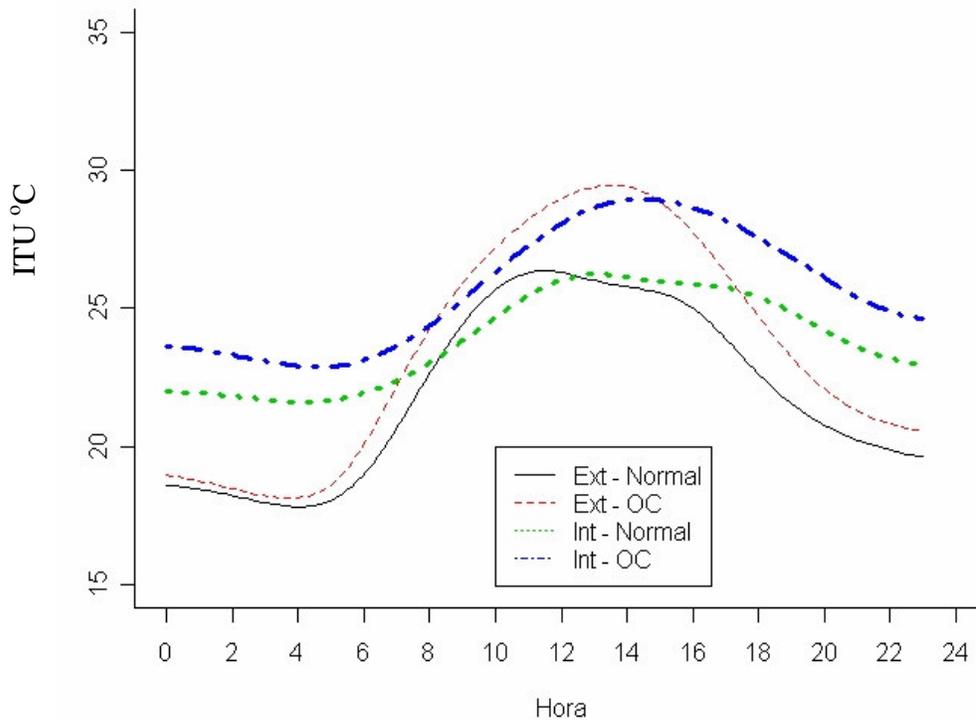


Figura 16 – Índices de Temperatura e Umidade (ITU) horários nos locais externo e interno aos galpões para as condições normais e de onda de calor.

A magnitude das ondas de calor enfrentadas pelas aves durante períodos de alta mortalidade pode ser medida pelo ITU horas graus acumulado no dia (ITU_{hga}). Considerando que os aviários da Etapa 2 são climatizados, diferentes dos da Etapa 1, é necessário a verificação de qual limite de ITU_{hga} (22, 23 ou 24° C) é mais adequado para caracterizar a magnitude dos dias de OC com impacto na mortalidade de frangos de corte neste tipo de aviário.

Para se identificar qual das variáveis (ITU_{hga} para os limites de 22, 23 e 24° C) têm maior poder de classificar a mortalidade alta de frangos de corte (dados utilizados na predição da mortalidade com 24 horas de antecedência), foram construídos três modelos de árvore de decisão para a classificação em MA, utilizando apenas uma das três variáveis e posteriormente comparando os modelos entre si por suas precisões conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Precisão de modelos utilizando o ITU_{hga} (ITU horas graus acumulado no dia) maiores que 22, 23 e 24° C.

Precisão (%)	ITU _{hga} >22	ITU _{hga} >23	ITU _{hga} >24
Precisão do modelo	94,0	93,1	98,3
Precisão da classe MA	95,9	88,9	94,6
Precisão da classe MN	93,9	93,3	98,8

Para classificação da mortalidade alta em frangos de corte nos dias em que ocorreram, ambos os modelos apresentaram boa capacidade de predição, acima de 93% de precisão, todavia, o ITU_{hga} 24° C apresentou a melhor precisão e capacidade de classificar a mortalidade alta em frangos de corte (Tabela 12).

O modelo construído com a variável ITU_{hga}>24° C se mostrou como o melhor preditor para identificar a magnitude das ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte. O valor de ITU_{hga}>24° C de 367° C acumulados (Tabela 13) pode ser adotado como referência para a média das ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte em aviários com climatização mínima.

A partir do banco de dados meteorológicos dos anos de 2002 até 2007, utilizado para a previsão da mortalidade com 24 horas de antecedência, os dias de onda de calor apresentaram um ITU_{hga} distinto quando comparado aos dias normais de verão (Tabela 13). Os valores de ITU_{hga} para onda de calor apresentaram 455, 405 e 367° C acumulados para os limites de 22, 23 e 24° C respectivamente contra 171, 136 e 106° C acumulados para os mesmos limites na condição normal respectivamente.

A instalação de estações e a coleta de informações meteorológicas nas granjas fornecem importantes dados para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão e permite o estabelecimento dos limites para a monitoria das condições ambientais a partir de estações locais e em pontos diferentes. Trabalho de FREITAS et al. (2006) avaliou a utilidade destas estações na granja e fora delas para bovinos leiteiros obtendo correlações entre elas e estabelecendo padrões indicativos das perdas na produção de leite por estresse térmico nos bovinos.

Tabela 13 – Médias de ITU_{hga} (ITU horas graus acumulado no dia) maiores que 22, 23 e 24° C para as condições de dias normais (NORMAL) e de onda de calor (OC).

Condição		Limites de ITU _{hga}		
		22° C	23° C	24° C
NORMAL	Média	171	136	106
	Mínima	0	0	0
	Máxima	605	522	438
OC	Média	455	405	367
	Mínima	247	224	196
	Máxima	1068	1024	1001

É de fundamental importância que as medições dos parâmetros ambientais sejam horárias, contendo a temperatura, a umidade relativa do ar e que permitam a derivação do ITU, auxiliando no acompanhamento das condições ambientais ao longo do dia.

A possibilidade de mudanças climáticas com um aumento da frequência, intensidade e duração das ondas de calor (ROBINSON, 2001), poderão exigir uma mudança na tipologia construtiva de galpões. Um dos efeitos das mudanças climáticas é a redução da umidade em ambientes tropicais (NEELIN et al., 2006) o que permite soluções mitigadoras desde que em aviários adequadamente equipados.

As instalações para frangos de corte podem exigir num curto espaço de tempo um melhor isolamento, partindo para sistemas como os com ventilação forçada de pressão negativa, com resfriamento evaporativo e ou aviários escurecidos (*dark house*).

4.3.1. Descoberta de conhecimentos preliminares

Durante as condições de onda de calor foram observadas a temperatura do ar e o Índice de Temperatura e Umidade do ar piores que aqueles nas condições climáticas normais. A umidade

relativa do ar nas condições de onda de calor se mostrou inferior nos horários de pico de calor, no turno da tarde, entre 12h00min e 18h00min.

Estratégias de mitigação com a intensificação de uso dos ventiladores e resfriamento evaporativo iniciando entre 09h00min e 10h00min, perdurando até 20h00min do dia podem amenizar os efeitos do ambiente térmico sobre o estresse de frangos de corte.

Á partir das 16h00min a renovação do ar interno dos galpões pode auxiliar na queda da temperatura interna dos galpões.

As ondas de calor com impacto na mortalidade de frangos de corte apresentam uma magnitude média de $ITU_{hga} > 24^{\circ} C$ de $367^{\circ} C$ acumulados no dia.

4.4. Previsão da mortalidade de frangos com 24 e 48 horas de antecedência

A Mineração dos Dados das fichas de mortalidade de frangos de corte, com idade superior a 28 dias, entre 2002 até 2007 para a previsão da mortalidade com 24 horas de antecedência, gerou uma árvore de decisão com precisão de classificação para o modelo de 97,2% e precisão das classes MA e NO de 93,3% e 97,6% respectivamente (Figura 17). O modelo da Figura 17 foi gerado pela abordagem de seleção de atributos por especialistas, modelo de melhor desempenho.

Para a predição da mortalidade com 24 horas de antecedência, o modelo utilizou os atributos listados na Tabela 14. Foram utilizados os dados das estações meteorológicas de Monte Alegre do Sul da temperatura máxima, mínima e a ocorrência de chuva. Na estação meteorológica de Campinas, SP, foram utilizadas as temperaturas média, máxima e mínima do ar, a umidade relativa média do ar e as derivações para o ITU mínimo, máximo e o ITU graus dia acumulado maiores que 22 e 24°. Para ambas as estações foram utilizados dados retroativos de até 3 dias.

Um importante atributo utilizado na classificação da ocorrência da mortalidade, com grande poder de classificação, foi o ITU_{hga} maior que $24^{\circ} C$ ($ITU > 24$, Figura 17), indicando que, inclusive para a predição, os valores de ITU de dias anteriores à ocorrência de onda de calor para frangos de corte, são adequados e podem gerar um grande poder de classificação.

A utilização de valores de ITU_{hga} pelo modelo pode permitir capturar padrões associados às horas em temperatura de desconforto dos animais antes da ocorrência da onda. Esta condição de estresse térmico no dia anterior pode tornar a ave menos apta a resistir ao estresse do dia seguinte, principalmente se esta for exposta a uma condição ambiental ainda pior.

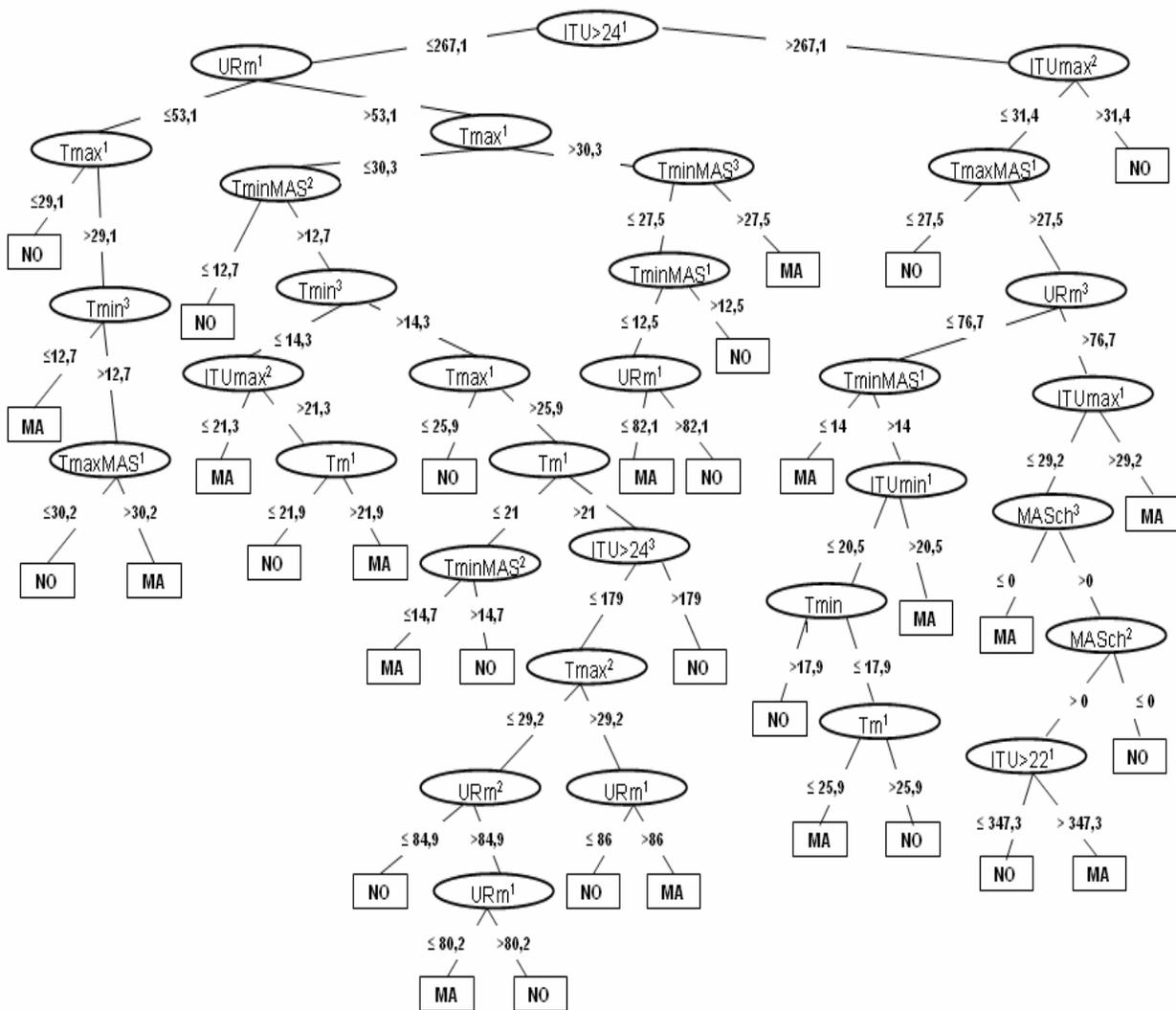


Figura 17 – Modelo de predição da mortalidade alta (MA) em frangos de corte com 24 horas de antecedência.

($ITU > \text{valor} = ITU_{\text{hga}} > \text{valor}$; número do índice = dias retroativos da leitura; MA, mortalidade alta; NO, mortalidade normal)

A utilização dos atributos listados na Tabela 15 para a construção do modelo da Figura 17 está de acordo com pesquisas sobre os fatores desencadeadores do estresse térmico em aves (TEETER e BELAY, 1996; HUNKE et al., 2001; FURLAN e MACARI, 2002; CONY e ZOCCHÉ, 2004; DE OLIVEIRA et al., 2006; ABU-DIEYEH, 2006) e a aplicação do ITU em frangos de corte expostos ao calor (HARRINGTON e BOWLES, 2004; CHEPETE et al., 2005). A utilização do

atributo referente à não ocorrência de dias de chuva em MAS, reforça a caracterização de que dias de onda de calor são dias mais secos e de céu aberto.

Tabela 14 - Lista de atributos utilizados para a predição de mortalidade alta em frangos de corte.

Atributo	Descrição	Local ¹	Dias ²
Tm	Temperatura média do ar	Cps	1
Tmin	Temperatura mínima do ar	Cps	1
Tmin	Temperatura mínima do ar	Cps	3
Tmax	Temperatura máxima do ar	Cps	1
Tmax	Temperatura máxima do ar	Cps	2
Tmax	Temperatura máxima do ar	MAS	1
Tmin	Temperatura mínima do ar	MAS	1
Tmin	Temperatura mínima do ar	MAS	2
URm	Umidade Relativa média do ar	Cps	1
URm	Umidade Relativa média do ar	Cps	2
URm	Umidade Relativa média do ar	Cps	3
MASch	Ocorrência de precipitação	MAS	2
MASch	Ocorrência de precipitação	MAS	3
ITUmin	ITU mínimo	Cps	1
ITUmax	ITU máximo	Cps	1
ITUmax	ITU máximo	Cps	2
ITU>22	Graus dia de ITU acumulados superior a 22° C	Cps	1
ITU>24	Graus dia de ITU acumulados superior a 24° C	Cps	1
ITU>24	Graus dia de ITU acumulados superior a 24° C	Cps	3

1 Cps, Campinas, SP; MAS, Monte Alegre do Sul, SP.

2 Dias retroativos da leitura na estação meteorológica.

3 $ITU = 0,71 \times \text{Temperatura de bulbo seco} + 0,29 \times \text{Temperatura de bulbo úmido}$ (CHEPETE et al., 2005).

4 $ITU > X = \sum ITU_{c > x}$, calculado ao longo de 24 horas.

A utilização do atributo MASch, referente à não ocorrência de precipitação três dias antes da ocorrência de mortalidade alta, reafirma os relatos de técnicos que afirmam que as ondas de calor

ocorrem em dias sem nebulosidade, concordando com ROBINSON (2001), ROSSATO et al. (2003) e ABAURREA et al. (2006).

O modelo apresentou uma alta precisão geral (97,2%) e permite a monitoria da mortalidade de frangos de corte com 93,3% de acerto para aviários convencionais equipados com forro, ventiladores e nebulizadores.

A partir deste modelo foram obtidas 15 regras de associação na forma de corpo \rightarrow cabeça, ou antecedente \rightarrow conseqüente (**SE** Variável $x \geq y$ **ENTÃO** MA ou NO) que podem ser utilizadas em sistemas computacionais para a previsão da mortalidade em frangos de corte conforme mencionado por AERTS et al. (2003).

Considerando que as temperaturas máximas do ar do dia anterior ocorrem por volta das 15h00min, é possível ao final da tarde do dia anterior à ocorrência provável da mortalidade, desencadear ações mitigadoras como a intensificação da ventilação e nebulização do ar a partir das 09h00min do dia seguinte.

Contudo, a utilização de duas bases de dados diferentes pode tornar o processo mais complexo e demorado, e mais, a previsão com 48 horas de antecedência garante mais tempo de organização para ações mitigadoras.

Buscando essas alternativas, foram geradas quatro abordagens para a previsão da mortalidade alta devido a ondas de calor com 48 horas de antecedência (Tabela 15).

Tabela 15 – Precisão de modelos e das classes de mortalidade alta (MA) e normal em relação à abordagem para previsões com 48 horas de antecedência.

Precisão (%)	MAS ¹	Cps ²	MC-Wrapper ³	CPS-GR ⁴
Precisão do modelo	90,08	90,33	90,81	91,12
Precisão da Classe MA	60,3	59,9	66,7	66,9
Precisão da Classe NO	92,3	93,2	92,5	93,0

1 - MAS, dados meteorológicos de Monte Alegre do Sul, SP; 2 - Cps, dados meteorológicos de Campinas, SP; 3 - MC-Wrapper, dados meteorológicos de Monte Alegre do Sul e de Campinas, pela melhor abordagem de seleção de atributos (*Wrapper*); CPS-GR, dados meteorológicos de Campinas, pela melhor abordagem de seleção de atributos (*Gain Ratio*).

Mesmo com a alta precisão dos modelos apresentados na Tabela 15, entre 90,08 a 91,12%, a precisão da classificação em mortalidade alta foi relativamente baixa, entre 59,9 a 66,9% de precisão nas previsões.

O modelo de melhor desempenho, com precisão de 91,12% e classificação em MA de 66,9%, foi aquele gerado a partir do banco de dados meteorológico de Campinas, SP, provavelmente devido à maior riqueza de dados, dispondo de mais atributos e permitindo derivações como o cálculo do ITU, utilizado como o $ITU_{hga} > 21^{\circ} C$ (Figura 18), um dos principais atributos de classificação juntamente com a temperatura mínima.

O melhor modelo com base na abordagem de seleção de dados para o banco de dados geral, incluindo dados de MAS e de Cps, foi originado por Wrapper, com precisão de 90,81% e classificação em MA de 66,7%, inferior ao obtido a partir dos dados somente de CPS (Tabela 15).

Este pior desempenho quando se compara os modelos Cps contra MC-Wrapper pode ser atribuído à redundância entre atributos o que pode comprometer a eficiência do modelo (OLIVEIRA et al., 2006).

Apesar de uma menor precisão de acerto na mortalidade alta (66,9%) com 48 horas de antecedência a partir dos dados de Campinas, modelo da Figura 18, essa previsão pode dar suporte à tomada de decisão. Com 48 horas é possível disparar um comunicado de alerta para as ações do dia seguinte no prepara de ações mitigadoras, caso seja confirmado no dia seguinte as previsões com 24 horas de antecedência (Figura 17).

Devido ao tamanho da árvore de decisão gerada na Figura 18, os detalhes das regras de decisão estão apresentados no Anexo I.

Os atributos utilizados para a construção do modelo da Figura 18 estão Listados na Tabela 16. Entre os dados diretamente registrados na estação meteorológica o modelo utilizou informações sobre a pressão atmosférica, a temperatura média e a mínima, a umidade relativa máxima e mínima de dois até quatro dias antes do evento da mortalidade alta. Os dados derivados utilizados foram os ITU_{hga} maiores que 23, 22 e $21^{\circ} C$ e o ITU médio, mínimo e máximo retroativos de dois a até quatro dias, o que reforça a importância destes atributos.

Sistemas especialistas de suporte à decisão, elaborados a partir de modelos matemáticos *Fuzzy* (MOURA et al., 2004; CHIARINI et al., 2006; OWADA e NÄÄS, 2006), podem auxiliar no aumento da precisão das previsões de mortalidade com 48 horas de antecedência, permitindo iniciar ações coordenadas com maior acerto nas previsões.

Tabela 16 – Lista de atributos utilizados para a previsão de mortalidade alta com 48 horas de antecedência.

Sigla ¹	Descrição	Sigla ^{1,2}	Descrição
Pam2	Pressão atmosférica média	ITU>233	ITU hora grau acumulado maior que 23° C
Pamin3	Pressão atmosférica mínima	ITU>234	ITU hora grau acumulado maior que 23° C
Pamin4	Pressão atmosférica mínima	ITU>223	ITU hora grau acumulado maior que 22° C
Tm2	Temperatura média	ITU>213	ITU hora grau acumulado maior que 21° C
Tm3	Temperatura média	ITU>214	ITU hora grau acumulado maior que 21° C
Tm4	Temperatura média	ITUm2	ITU médio
Tmin3	Temperatura mínima	ITUm3	ITU médio
Tmin4	Temperatura mínima	ITUm4	ITU médio
URm3	Umidade relativa média	ITUmax3	ITU máximo
URmax2	Umidade relativa máxima	ITUmin3	ITU mínimo
URmin4	Umidade relativa mínima		

1 – O número no final das siglas representa o dia da observação antecedente ao da ocorrência da mortalidade alta.

2 – ITU, Índice de Temperatura e Umidade do ar (CHEPETE et al., 2005).

Sistemas de alerta são de grande interesse de empresas e governo. Órgãos governamentais como INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o AGRITEMPO/EMBRAPA (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), Rede Nacional de Agrometeorologia do MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) e CEPAGRI – UNICAMP (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura da Universidade de Campinas) dentre outros, já desenvolvem sistemas semelhantes a este, porém, poucos trabalhos são dirigidos à produção animal.

Sistemas de aviso e suporte a tomada de decisão podem perfeitamente ser aplicados utilizando programas computacionais específicos ou, simplesmente, utilizando-se planilhas do tipo Excell[®] ou Access[®] (CARLSON, 1983), configuradas com as regras obtidas nos modelos das Figuras 17 e 18 para que apresente uma resposta em formato de texto com uma recomendação previamente cadastrada.

Esta resposta do sistema deve ser enviada via rádio ou outros serviços como o de mensagens de texto, e-mail ou telefonia móvel. Todas as tecnologias aqui discutidas já estão acessíveis e disponíveis aos usuários comuns.

Os cafeicultores do estado do Paraná têm um serviço disponível desde 2002 de aviso de geadas do café. Este serviço é uma parceria entre o IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), uma prestadora de telefonia móvel, outra prestadora de telefonia fixa e pela CELEPAR (Companhia de Informática do Paraná). O serviço é prestado pelo SMS (*Short Message System*) enviando comunicados sobre as condições climáticas aos cafeicultores do Norte do Paraná (CONIP, 2008).

Um sistema semelhante ao mencionado pelo CONIP (2008) pode ser aplicado à produção de frangos de corte. A predição de mortalidade de frangos de corte em função do clima, como um sistema de suporte às tomadas de decisão em operações de produção de frangos de corte ganha importância quando se considera redução de custos e conseqüentemente melhorar a competitividade.

A metodologia aplicada neste estudo e o desenvolvimento de sistemas semelhantes aos citados podem ser adaptados e aplicados para a redução de perdas no transporte, mortalidades por síndromes metabólicas como a ascite, doenças do trato respiratório das aves, controle de alimentação de poedeiras, dentre outros.

4.4.1. Descoberta de conhecimentos preliminares

Foi possível determinar um modelo de árvore de decisão (97,2% de precisão) para a predição da ocorrência de mortalidade alta em frangos de corte a partir de dados meteorológicos com 24 horas de antecedência. Para a predição da mortalidade alta, o modelo revelou uma precisão de 93,3%.

Com 48 horas de antecedência o modelo apresentou uma precisão alta (91,12%), porém com menor precisão na classificação em mortalidade alta (66,9%).

A temperatura, a umidade relativa do ar, o ITU e a ocorrência de precipitação foram os parâmetros utilizados na construção do modelo com 24 horas de antecedência. Com 48 horas de antecedência o modelo utilizou a pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar, o ITU_{hga} e o ITU.

4.5. Considerações gerais

Os bancos de dados tanto de empresas como de instituições meteorológicas, com algumas exceções, se mostraram deficientes, apresentando dificuldade de processamento e na sua organização, devido à falta de estrutura ou por apresentarem valores faltantes.

Essa é uma situação que requer maior reflexão de empresas e instituições com relação à qualidade dos dados coletados. A qualidade do banco de dados determinará e limitará as aplicações práticas, dificultando o processo de descoberta de conhecimento e a estruturação de sistemas de suporte à decisão.

Instituições públicas e privadas devem dedicar mais esforços na melhoria da qualidade dos bancos de dados visando uma aplicação futura. Os resultados obtidos neste trabalho permitem afirmar que há grande interesse e novas oportunidades de melhoria do processo produtivo com base nos dados relacionados ao clima e à produção animal.

Ferramentas como a Mineração de Dados, aplicadas na descoberta de conhecimento em bancos de dados meteorológicos e na produção animal, podem ser aplicadas com êxito.

É necessário ampliar a malha de estações meteorológicas automatizadas, com coleta de dados horários. Estes dados meteorológicos, juntamente com os de empresas avícolas são a base para o desenvolvimento de outros sistemas de suporte à decisão.

É necessário reforçar que este é um estudo de caracterização ambiental de fatores causadores de alta mortalidade em frangos de corte. Estudos climáticos podem utilizar essas variáveis obtidas neste estudo para identificar em outras regiões a ocorrência desses eventos com impacto na mortalidade e conseqüentemente na produtividade de aves.

O estudo de séries climáticas históricas para a caracterização de clima, utilizando séries de trinta anos, não é possível quando a variável resposta é o desempenho ou a fisiologia animal em função da evolução do sistema de produção no tempo.

A análise de padrões em bancos de dados zootécnicos históricos deve obrigatoriamente contornar as diferenças devido à evolução do sistema de produção de frangos de corte.

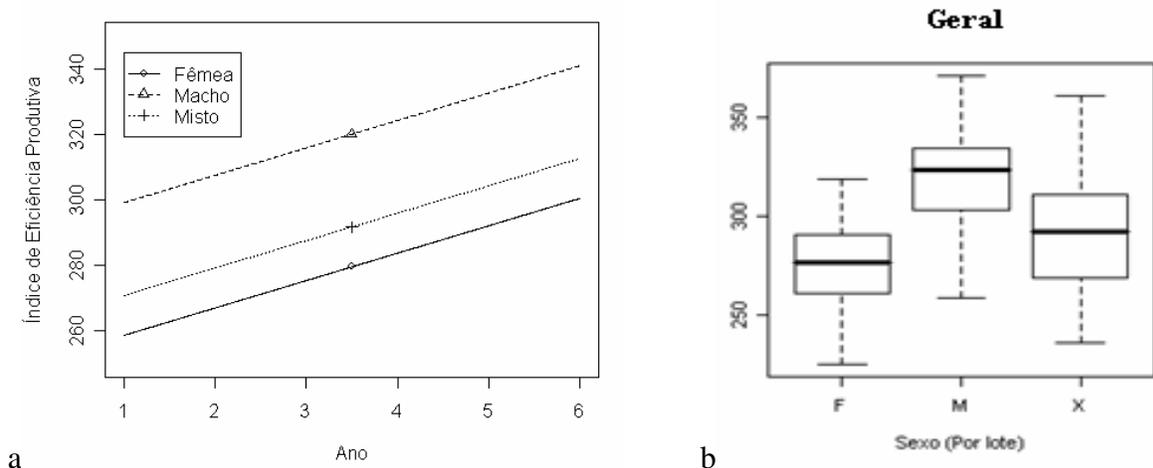


Figura 19 – Gráfico de regressão (a) para o IEP em função do ano de estudo e *box plot* para as diferenças entre lotes de diferentes sexos (b) de frangos de corte.

As evoluções podem ser observadas na melhoria do IEP (Índice de Eficiência Produtiva) calculado a partir da conversão alimentar, ganho de peso corporal, idade e viabilidade dos lotes. A Figura 19 apresenta um estudo, preliminar às fases de Mineração dos Dados deste estudo, envolvendo as informações zootécnicas, realizado a partir do IEP de integrados da região de Amparo.

De acordo com a equação de regressão (Equação 5) da análise de variância não paramétrica e regressão entre os sexos ao longo dos anos (2002 até 2006), há um ganho de 8,355 pontos de IEP que podem ser atribuídos à evolução genética, nutricional e de instalações e equipamentos.

$$\text{IEP} = 250.3371 + \text{Ano} * 8,355 + \text{IM} * 40,43 + \text{lx} * 12,13 \quad [\text{Equação 5}]$$

Onde:

Ano: 2002=1; 2003=2; 2004=3; 2005=4; e 2006=5.

IM = 1, se lote for macho e 0 se não.

lx = 1, se lote for misto e 0 se não.

Os lotes de machos (M) foram 40,43 pontos e os mistos (X) foram 12,13 pontos melhores que os de fêmeas (F). Estas informações permitem afirmar que a modelagem de perdas produtivas e

a previsão de ocorrência de perdas por ondas de calor devem ser processos contínuos e dinâmicos, revistos periodicamente.

A não revisão de modelos pode levá-los a uma séria redução de eficiência em apenas dois anos. É adequado que sistemas de alerta com essas informações sejam desenvolvidos em estreita relação com empresas e instituições gestoras do sistema, permitindo um processo contínuo e constante.

Associações e fundações ligadas às empresas de integrações avícolas devem se relacionar intimamente e dar suporte a possíveis órgãos gestores de sistemas de monitoria e à tomada de decisão na produção de frangos de corte.

4.5.1. A técnica de Mineração de Dados

Ferramentas como a Mineração de Dados, aplicadas na descoberta de conhecimento em bancos de dados meteorológicos e na produção animal, podem ser aplicadas com êxito.

Para fins de classificação e caracterização, a construção de modelos aplicando-se tarefas de classificação, como os das etapas 1 e 2, se mostrou uma ferramenta de grande poder frente à complexidade do ambiente.

Por outro lado, a técnica em si é dependente de um intenso trabalho de pré-processamento dos dados. Esta com certeza foi a etapa de mineração dos dados mais relevante à obtenção dos resultados.

De forma geral, para todas as minerações, os primeiros modelos gerados sem a seleção de atributos ou o balanço de classes se constituíram em “lixo”, ou seja, modelos de baixa precisão geral e das classes, extremamente complexos e pouco compreensíveis.

Apenas com a aplicação dos filtros e da técnica de seleção de atributos, utilizando os recursos computacionais do programa Weka[®], foram obtidos modelos relevantes.

É importante salientar que apesar de alguns modelos terem sido gerados a partir da abordagem de seleção de atributos por especialistas, estes procuraram conduzir suas restrições de atributos aprendendo com os resultados das demais abordagens de seleção disponíveis nos algoritmos do programa Weka[®].

Este aprendizado orientado pelos resultados das demais abordagens aparenta ter privilegiado e auxiliado nas abordagens dos especialistas.

Juntamente com a técnica de seleção de atributos, a classificação se mostrou ponto fundamental para a construção de modelos relevantes. Nesse sentido, a fase de conhecimento do domínio e dos dados foi fundamental. Várias abordagens de classificação da mortalidade alta foram descartadas.

O estudo do banco de dados da Etapa 1 foi crucial para as classificações das modelagens da Etapa 2 e das previsões com 24 e 48 horas. Sua importância foi principalmente em função da exatidão da classificação da mortalidade em função de ser um experimento em condições controladas e em um local de baixo desafio sanitário.

Problemas sanitários observados em casos de mortalidade alta, principalmente observados em alguns exemplos (dias de observação) onde não havia extremo de calor no dia da mortalidade, somente foram contornados com o auxílio da classificação obtida na Etapa 1.

4.5.2. Trabalhos futuros

A partir deste trabalho é possível afirmar que há um novo e vasto campo de estudo dentro da zootecnia de precisão com a aplicação de aprendizado de máquina, inteligência artificial, sistemas especialistas *fuzzy* e biometeorologia.

A utilização de informações meteorológicas juntamente com as zootécnicas para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão assume grande importância frente à necessidade atual de produção de alimentos e à de otimização de recursos.

Estudos de caracterização climática das diversas regiões produtoras, a partir dos resultados deste estudo, juntamente com o desenvolvimento de programas computacionais de suporte à tomada de decisão, facilitarão a chegada de novas tecnologias ao usuário final com grande agilidade.

A mesma metodologia aplicada neste estudo pode ser aplicada a outras espécies de animais de produção.

Outras técnicas de Inteligência Artificial, como as Redes Neurais Artificiais, quando não houver a necessidade de descrição do processo de classificação, podem apresentar desempenho igual ou superior na previsão de eventos da produção animal.

A metodologia desse estudo pode ser aplicada ao desenvolvimento de sistemas de monitoria à ocorrência de patologias animais, reduzindo a necessidade de sacrifício de animais para fins de necropsia e coleta e envio de material para laboratório.

Atualmente, grande parte do tempo do técnico nas granjas é destinada à necropsia de animais com a finalidade de avaliação sanitária dos lotes de frangos de corte. Outra vantagem destes sistemas é melhorar o trabalho da medicina veterinária preventiva em animais de produção.

4.5.3. Impacto econômico

A partir dos dados obtidos neste estudo, é possível tecer algumas considerações sobre o possível impacto econômico na mortalidade de frangos de corte.

A região do entorno do Município de Amparo, SP, abrangendo cidades do entorno, está ocupada por aviários de pelo menos quatro integrações avícolas com abates entre 50 até aproximadamente 400 mil aves por dia na região.

Considerando apenas um abatedouro, com 400 mil aves e uma idade de abate de 42 dias, para as idades susceptíveis ao impacto das ondas de calor, entre 31 e 42 dias de idade, teremos em média 4,4 milhões de aves em granjas na região em condição de serem impactadas por onda de calor.

Considerando um aumento de 0,3 pontos percentuais na mortalidade devido à ocorrência de uma única onda de calor, tem-se o equivalente à mortalidade de 13.200 aves no dia de onda.

Estimando-se um peso médio ao final dos 36 dias de idade (idade média), obtém-se a perda de aproximadamente 25 toneladas de aves no dia.

O custo de produção de frangos de corte em Janeiro de 2008, apresentado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2008) foi de R\$1,685 por kg de ave produzida.

A este custo de produção, implica que em apenas um dia de onda de calor ocorrem perdas em torno de R\$42.000,00 nesta região. Supondo a ocorrência de 25 ondas de calor ao longo de um ano, podem-se esperar perdas próximas de um milhão de Reais para regiões ou integrações com abate próximo a 400 mil aves dia⁻¹.

Um importante aspecto destas perdas a se ressaltar é que elas ocorrem em uma idade próxima à de abate, prontas para o consumo. Nesta condição são perdidos simplesmente todos os recursos investidos no processo produtivo.

Pode-se citar como recursos perdidos: toda a ração consumida, mão-de-obra, instalações, equipamentos, matrizes e matrizeiro, transporte, energia elétrica dentre outros.

A consideração desses valores permite afirmar que o desenvolvimento e implantação de sistemas de monitoria e previsão da ocorrência de ondas de calor podem gerar importantes benefícios às empresas. Em casos de pequenas integrações, o associativismo pode ser a forma de organização para desenvolvimento de instituições com este fim.

5. CONCLUSÕES

Com base na ocorrência de alta mortalidade em frangos de corte devido a ocorrência de ondas de calor, foram caracterizadas as condições ambientais médias para seu desencadeamento e modelada a previsão da ocorrência da mortalidade alta (MA).

As previsões com 48 (precisão de 91,12% do modelo e 66,9% para a classe MA) e 24 horas (precisão de 97,2% do modelo e 93,3% para a classe MA) de antecedência permitem o desencadeamento de ações mitigadoras para a redução da mortalidade em aves.

Os modelos de previsão, elaborados a partir de estações meteorológicas próximas às granjas, são aplicáveis em sistemas de suporte à decisão no processo de produção de frangos de corte.

Dados meteorológicos horários e o cálculo do ITU foram fundamentais para as previsões e caracterizações das ondas de calor.

Ondas de calor que impactam na mortalidade de frangos de corte apresentam duração média de 2,2 dias, podendo durar de um até mais dias. Frangos de corte são afetados diferentemente ao longo da idade, sendo as aves com mais de 30 dias susceptíveis ao aumento da mortalidade devido a este extremo de calor.

Diferentes formas construtivas são afetadas de forma diferente, sendo os galpões não climatizados impactados pela alta mortalidade em condição ambiental térmica mais amena que aquelas de galpões com climatização mínima.

Dias de onda de calor apresentam uma pior condição térmica, uma menor umidade relativa do ar nos horários de pico de calor, entre 12h00min e 18h00min.

Dias de onda de calor permitem estratégias de mitigação com a intensificação do uso dos ventiladores e resfriamento evaporativo iniciando operação entre 09h00min e 10h00min, perdurando até as 20h00min.

A previsão da mortalidade alta em frangos de corte a partir de dados meteorológicos com 24 e 48 horas de antecedência pode auxiliar na tomada de decisão precoce para se evitar esta mortalidade.

ANEXO

CONJUNTO DE REGRAS PARA FORMAÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO DA PREVISÃO DA MORTALIDADE ALTA DE FRANGOS DE CORTE COM 48 HORAS DE ANTECEDÊNCIA – Abordagem *Gain Ratio*

As regras que seguem estão ordenadas conforme o nível da regra na árvore. Cada | (Barra vertical) significa um nível da árvore de decisão. Regras em mesmo nível representam ramos opostos da árvore.

Regras de árvore de decisão da Figura 18.

Tmin4 <= 12

| Tm4 <= 19.5: NO (7.0)

| Tm4 > 19.5

| | Tm2 <= 23: MA (16.0)

| | Tm2 > 23: NO (5.01)

Tmin4 > 12

| ITU>214 <= 197.5: NO (284.17/2.0)

| ITU>214 > 197.5

| | ITUmin3 <= 15

| | | ITUmax3 <= 28.3

| | | | ITU>213 <= 313.1

| | | | | URm3 <= 59.6: MA (6.0/1.0)

| | | | | URm3 > 59.6

| | | | | | ITU>234 <= 322.3: NO (29.02/5.0)

| | | | | | ITU>234 > 322.3: MA (3.0/0.0)

| | | | ITU>213 > 313.1: MA (6.0/0.0)

| | | ITUmax3 > 28.3: NO (11.01)

| | ITUmin3 > 15

| | | Tmin4 <= 15.5

Continua

Continuação

| | | | URm3 <= 75.8
| | | | | ITUmin3 <= 16.5: NO (22.01/1.0)
| | | | | ITUmin3 > 16.5: MA (3.0/1.0)
| | | | URm3 > 75.8: MA (8.0/0.0)
| | | Tmin4 > 15.5
| | | | ITUm2 <= 20.2: NO (117.0/2.0)
| | | | ITUm2 > 20.2
| | | | | ITUm2 <= 25.4
| | | | | | ITUm3 <= 24.9
| | | | | | | ITUm4 <= 24.8
| | | | | | | | Pamin4 <= 943.5
| | | | | | | | | Pam2 <= 946.1
| | | | | | | | | | Tm2 <= 24.4
| | | | | | | | | | ITU>213 <= 203.1
| | | | | | | | | | | Tmin4 <= 17.9: MA (3.0)
| | | | | | | | | | | Tmin4 > 17.9
| | | | | | | | | | | | Tmin4 <= 19.7: NO (12.0)
| | | | | | | | | | | | Tmin4 > 19.7
| | | | | | | | | | | | | URmax2 <= 93.6: MA (4.0/1.0)
| | | | | | | | | | | | | URmax2 > 93.6: NO (6.0/2.0)
| | | | | | | | | | | | ITU>213 > 203.1
| | | | | | | | | | | | Tm4 <= 21.7
| | | | | | | | | | | | | ITUm3 <= 22.4: NO (36.0/1.0)
| | | | | | | | | | | | | ITUm3 > 22.4: MA (11.0/1.0)
| | | | | | | | | | | | | Tm4 > 21.7: NO (531.0/25.0)
| | | | | | | | | | | | Tm2 > 24.4
| | | | | | | | | | | | URmin4 <= 52
| | | | | | | | | | | | Pamin3 <= 939.8: NO (93.0)
| | | | | | | | | | | | Pamin3 > 939.8

Continua

Continuação

| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm3 <= 23.6: MA (3.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm3 > 23.6
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITU>233 <= 340.4: NO (13.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITU>233 > 340.4
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUmin3 <= 17.1: NO (2.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUmin3 > 17.1: MA (6.0/1.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | URmin4 > 52
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUmax3 <= 28.1: NO (40.0/4.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUmax3 > 28.1
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm4 <= 23.3
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm4 <= 22.1: NO (2.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm4 > 22.1: MA (19.0/2.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm4 > 23.3
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pam2 <= 941.6
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUmax3 <= 28.9: MA (2.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUmax3 > 28.9
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pamin4 <= 938.3: NO (19.0/6.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pamin4 > 938.3: MA (2.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pam2 > 941.6: NO (28.0/3.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pam2 > 946.1
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tmin3 <= 19.4
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pamin4 <= 943
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm2 <= 22.1
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUm4 <= 23.1: NO (41.0/4.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUm4 > 23.1: MA (5.0/1.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Tm2 > 22.1
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUm2 <= 24.1: MA (14.46/2.46)
| | | | | | | | | | | | | | | | | ITUm2 > 24.1: NO (3.0)
| | | | | | | | | | | | | | | | | Pamin4 > 943: MA (4.03/0.03)

Continua

Continuação

| | | | | | | | | | T_{min3} > 19.4: NO (21.15)
| | | | | | | | P_{amin4} > 943.5: NO (98.07/2.0)
| | | | | | | ITU_{m4} > 24.8
| | | | | | | | ITU>213 <= 429: MA (10.01/2.01)
| | | | | | | | ITU>213 > 429
| | | | | | | | | ITU>223 <= 471: NO (11.01)
| | | | | | | | | ITU>223 > 471: MA (5.0/2.0)
| | | | | | ITU_{m3} > 24.9
| | | | | | | ITU_{m4} <= 23.8: MA (7.0/0.0)
| | | | | | | ITU_{m4} > 23.8
| | | | | | | | T_{m3} <= 26.2: MA (3.0/0.0)
| | | | | | | | T_{m3} > 26.2: NO (27.02/4.0)
| | | | | ITU_{m2} > 25.4: NO (45.0)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAURREA, J.; ASIN, J.; CEBRIAN, A. C.; CENTELLES, A. On the need of a changing threshold in heat wave definition. **Geophysical Research Abstract**, v. 8, Abs.:09142, 2006.

ABREU, P. G.; SCHMIDT, G. S.; ABREU, V. M. N. Efeito do isolamento térmico do telhado sobre o resultado econômico da produção de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, sup. 8, p. 25, 2006.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. Análise do potencial de redução da temperatura ambiente por meio do resfriamento evaporativo para a produção de aves no sudoeste do Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007. 2007, Bonito – MS. **Resumos do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. CD-ROM.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G.; COLDEBELLA, A.; PAIVA, D.P.; JAENISCH, F.R. Condições psicrométricas do ar em aviários com forro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2007. 2007, Bonito – MS. **Resumos do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. CD-ROM.

ABU-DIEYEH, Z.H.M. Effect of chronic heat stress and long-term feed restriction on broiler performance. **International Journal of Poultry Science**, v. 5, n. 2, p. 185-190, 2006.

AERTS, J. M.; WATHES, C. M. BERCKMANS, D. Dynamic data-based modeling of heat production and growth of broiler chickens: development of an integrated management system. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 3, p. 257-266, 2003.

ALBRIGHT, L.D. **Environment control for animals and plants**. ASAE Testbook, St. Joseph. Michigan. 1990. 453 p.

ARADAS, M. E. C. **Avaliação do controle do ambiente em galpões de frangos de corte criados em alta densidade**. 2001. 106 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- BALNAVE, W.L. Increase utilization of sensible heat loss mechanisms in high temperature, high humidity conditions. **Word's Poultry Science Journal**, v. 54, p. 69-72, 1998.
- BENISTON, M.; DIAZ, H. F. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations. **Global and Planetary Change**, v. 44, p. 73-81, 2004.
- BREIMAN, L. Bagging predictors. **Machine Learning**, v. 26, p. 123-140, 1996.
- BORGES, S. A.; MAIORKA, A.; FISCHER DA SILVA, A. V. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 975-981, 2003.
- BROWN-BRANDL, T.M. ; BECK, M.M. ; SCHULTE, D.D. ; PARKHUST, A.M. ; DESHAZER, J.A. Temperature humidity index for growing tom turkeys. **Transaction of the ASAE**, v. 40, n. 1, p. 203-209, 1997.
- BRUNOZILLI, J.; SOUZA, D. P. Produtividade regional. **Avicultura Industrial**, n. 1, ed. 1119, p. 22-24, 2004.
- BUENO, L. G. F. **Avaliação da eficiência energética e do conforto térmico em instalações de frangos de corte**. 2004. 86 p.. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP.
- CARLSON, E.D. An approach for decision support systems. In: BENNETT, J. L. **Building Decision Support Systems**. Addison-Wesley Publishing Company. California, 1983, p. 15-39.
- CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. **CRISP-DM 1.0. Step-by-step data mining guide**. 78 p.. 2000. Disponível em: <http://www.crisp-dm.org/CRISPWP-0800.pdf>. Acesso em: 31/10/2005.

CHEPETE, H. J.; CHIMBOMBI, E.; TSHEKO, R. Production performance and temperature-humidity index of Cobb 500 broilers reared in open-sided naturally ventilated houses in Botswana. In: PROCEEDINGS OF THE ASAE ANNUAL MEETING, 2005. Paper n. 701P0205. Beijing, China, 2005.

CHEPETE, H. J.; TSHEKO; R. Hot and cold weather heat load dynamics of uninsulated broiler house in Botswana. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, v. 8, n BC 06 001, 2006. Disponível em: <http://cigr-ejournal.tamu.edu/submissions/volume8/BC%2006%20001%20Chepete%20final%2017June2006.pdf>. Acesso em: 21/07/2007.

CHIARINI, A. M.; TOLON, Y. B.; NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J.; CAMPOS, L. S. L.; SANTOS, R. C. Uso da lógica *fuzzy* para o desenvolvimento de um modelo padrão de avaliação do ambiente de maternidade de suínos. IN: SIMCRA 2006. 2006, Campinas-SP. **Resumos do Simpósio de Construções Rurais e Ambientes Protegidos**. CD-ROM.

CHVATAL, K.M.S.; LABAKI, L.C.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Caracterização de climas compostos e proposições de diretrizes para o projeto bioclimático: O caso de Campinas. In: V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO ANBIENTE CONSTRUÍDO, 1999. Fortaleza-CE, 1999. CD-ROM.

CHVATAL, K.M.S.; LABAKI, L.C.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Estudo do clima de Campinas: a dificuldade de caracterização e proposição de recomendações de projeto para climas compostos. In: ENTAC 2000 - VIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. MODERNIDADE E SUSTENTABILIDADE, 2000, Salvador, 2000. CD-ROM.

COBB COBB **Broiler Nutrition Guide**. COBB, 2003. Disponível em: http://www.visciukai.lt/downloads/ng3_broil_guide.pdf. Acesso em: 21 set., 2006.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento: custo de produção de frango de corte. Disponível em: www.cnpsa.embrapa.br/?ids=Sn6p54k7p. Acesso em: 05 fev., 2008.

CONIP Instituto CONIP, Conhecimento, Inovação e Práticas de TI na Gestão Pública.

Disponível em: http://www.conip.org.br/mgov/?q=info_gerais. Acesso em: 01/04/2008

CONY, A. V.; ZOCHE, A. T. Manejo de frangos de corte. In: MENDES, A. A.; NÄÄS, I. A.; MACARI, M. **Produção de Frangos de Corte**. Campinas. FACTA, 2004. Cap. 8, p. 117 – 136.

COPA / COGECA. COMITÉ DÉS ORGANISATIONS PROFESSIONALLES DE LA AGRICOLES DE LA COMMUNITÉ EUROPÉENNE / COMITÉ GENERAL DE LA COOPERATION AGRICOLE. **Assessment of the impact of the heat wave and drought of the Summer 2003 on agricultural and forestry**. Cologne, Alemanha. 15 p. 2004. Disponível em: http://www.meteo.uni-koeln.de/content/klimadiagnose/summerheat2003/pocc_03_78i4_1e.pdf; Acesso em 26/01/2005.

DE OLIVEIRA, G.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; CECON, P.R.; VAZ, R.G.M.V.; ORLANDO, U.A.D. Efeito da temperatura sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte de 22 aos 42 dias. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 4, p. 1398-1405, 2006.

ESALQ. **Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP**. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lce/automatica/pagina4.html>). Acesso em: 05 Set 2005.

FÁVERO, A. J.; DOS SANTOS, N. M. **Sistemas Especialistas**: Tutorial. Grupo de Sistemas Inteligentes do Departamento de Informática da Universidade Federal de Maringá. Disponível em: <http://www.din.uem.br/ia/especialistas/>. Acesso em: 15/10/2005.

FAYYAD, U.; STOLORZ, P. Data mining and KDD: Promise and challenges. **Future Generation Computer Systems**, v. 13, p. 99 – 115, 1997.

FEELDERS, A.; DANIELS, H.; HOLSHEIMER, M. Methodological and practical aspects of data mining. **Information & Management**, v. 37, p. 271-281, 2000.

FIALHO, F. B. Sistemas de apoio à decisão na produção de suínos e aves. In: XXXVI REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 36. 1999. Porto Alegre-RS. **Anais**. Porto Alegre-RS. 1999, p. 307-317.

FOLLAND, C. K.; KARL, T.,R.; CHRISTY, J. R.; CLARKE, R. A.; GRUZA, G. V.; JOUZEL, J.; MANN, M. E.; OERLEMANS, J.; SALINGER, M .J.; WANG, S. W. Observed Climate Variability and Change. In: HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON C. A. **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (EDS.). CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, CAMBRIDGE, UNITED KINGDOM. 2001. P. 59 - 84.

FREITAS, M.S.; MISZTAL, I.; BOHMANOVA, J.; WEST, J. Utility of on- and off-farm weather records for studies in genetics heat tolerance. **Livestock Science**, v. 105, p. 223-228, 2006.

FROST, A. R.; SCHOFIELD, C. P.; BEAULAH, S. A.; MOTTRAM, J. A.; LINES, J. A. WATHES, C. M. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 17, p. 139-159, 1997.

FROST, A. R.; PARSONS, D. J.; STACEY, K. F.; ROBERTSON, A. P.; WELCH, S. K.; FILMER, D.; FORTHERGILL, A. Progress towards the development of an integrated management system for broiler chicken production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 39, p. 227-240, 2003.

FURLAN, R.L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In: VII SIMPÓSIO BRASIL SUL DE AVICULTURA04, Chapecó, 2006, **Anais...** EMBRAPA - Centro nacional de Pesquisa em Suínos e Aves, Chapecó, SC, Brasil, 2006, p. 104-135.

GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, p. 61-74, 2001.

GATES, R. S.; ZHANG, H.; COLLIVER, D. G.; OVERHULTS, D. G. Regional variation temperature humidity index for poultry housing. Transaction of the ASAE. Vol. 38, n. 1, p. 197-205. 1995. **Abstract**. Disponível em: http://www.bae.uky.edu/~gates/Reprints/rsg_r33.htm . Acesso em: 28/02/2005.

GENÇ, L. Sensible and latent heat production from broilers in laboratory conditions. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 29, p. 635-643, 2005.

GOMES, A. K. **Análise do conhecimento extraído de classificadores simbólicos utilizando medidas de avaliação e de interessabilidade**. 2002. 127 p.. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo. São Carlos.

GUYON, I.; ELISSEEFF, A. An Introduction to Variable and Feature Selection. **Journal of Machine Learning Research**, v. 3, p.1157-1182, 2003.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2nd Edition, 2006, 770 p.

HARRINGTON, JR. J. A.; BOWLES, E. A climatology of hourly THI values for livestock producers. In: EXTENDED ABSTRACT OF 14th CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY. 84 ANNUAL MEETING OF AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. 2004, Jan., p. 1-12. Seattle, WA. Disponível em: <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/72785.pdf> . Acesso em: 27/01/2005.

HILDERMAN, R.; HAMILTON, H. **Knowledge discovery and interestingness measures: A survey**. Technical Report CS 99-04, Department of Computer Science, University of Regina, 1999. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/11506/http://zSzzSzwww.cs.uregina.ca/zSzresearchzSzTechreportszSz9904.pdf/hilderman99knowledge.pdf>. Acesso em : 01/10/2005.

HUHNKE, R.L.; McCOWAN, L.C.; MERAZ, G.M.; HARP, S.L.; PAYTON, M.E. Determining the frequency and duration of elevated temperature-humidity index. PROCEEDINGS OF THE 2001 ASAE ANNUAL MEETING, 2001. Paper n. 01-4111. Sacramento, California, USA, 2001.

HURWITZ, S.; WEISELBERG, M.; EISNER, U.; RIESENFELD; SHARVIT, M.; NIV. A; BORNSTEIN, S. The requirements and performance of growing chickens and turkeys as affected by environmental temperature. **Poultry Science**, v. 10, n. 10. p. 2290 – 2299, 1980.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BR. **Glossário**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/informacoes/glossario/glossario.html>. Acesso em: 27/01/2005.

JULIAN, R. J. **Production and growth related disorders and other metabolic diseases of poultry – a review**. The Veterinary Journal. 2005. v. 169, n.3, p. 350-369.

KANDEL, A. The foundations of rule-based computations in fuzzy models. In: PEDRYCZ, W. **Fuzzy Modelling: Paradigms and practice**. Boston. Kluwer Academic Publishers. 1996. p. 231-263.

KIM, Y.S.; STREET, W.N.; MENCZER, F. Feature selection in data mining. IN: WANG, J. **Data mining: opportunities and challenges**. Hershey: Idea Group Publishing, 2002. cap.4, p.80-105.

LIAO, S.H. Knowledge management technologies and applications – literature review from 1995 to 2002. **Expert Systems with Applications**, v. 25, p. 155-164, 2003.

MACARI, M.; FURLAN, R. L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: DA SILVA, I. J. O. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba – SP, 2001. p. 31-87.

MARAI, I. F. M., HABEEB, A. A. M.; GAD, A. E. Rabbit's' productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. **Livestock Production Science**, v. 78, p. 71 – 90, 2002.

MARQUARDT, F.A.; TSUKAHARA, R.Y.; CANTERI, M.G. Sistema de previsão do tempo para suporte à tomada de decisão no manejo fitossanitário. **In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA – SBIAGRO, 2007, São Pedro, Brasil, 2007, Embrapa Informática Agropecuária, p.p. 71-75.**

MARTÍNEZ, J.; FUENTES, O. Using C4.5 as Variable Selection Criterion in Classification Tasks. **Anais: ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SOFT COMPUTING –ASC**, 2005. Benidorm, Spain, p.191-195, 2005.

McQUEEN, R. J.; GARNER, S. R.; NEVILL-MANNING, C. G.; WITTEN, I. H. Applying machine learning to agricultural data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 12, p. 275 – 293, 1995.

MEIRA, C.A.A.; RODRIGUES, L.H.A. Preparação de dados para obtenção de modelos de alerta da ferrugem do cafeeiro. **In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA – SBIAGRO**, 2007. São Pedro, Brasil, 8-11 outubro 2007, Embrapa Informática Agropecuária, p.381-385.

MENDES, A.A.; PATRÍCIO, I.S. Controles, registros e avaliação do desempenho de frangos de corte. **In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. Produção de frangos de corte**. Campinas, SP, FACTA. 2004. Capítulo 4, p. 55-84.

MIRAGLIOTTA, M.Y. **Avaliação das condições do ambiente interno em dois galpões de produção comercial de frangos de corte, com ventilação e densidade populacional diferenciados**. 2005. 224 p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, Campinas.

MIRAGLIOTTA, M.Y.; NÄÄS, I.A.; BARACHO, M.S.; ARADAS, M.E.C. Qualidade do ar de dois sistemas produtivos de frangos de corte com ventilação e densidades diferentes – Estudo de Caso. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2002.

MIRANDA, J.H.; ANGELOCCI, L.R.; DA SILVA, K.O.; DUARTE, S.N.; VILA NOVA, N.A. Aplicação de métodos numéricos para a estimativa de variáveis psicrométricas. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 26, n. 3, p. 686-694, 2006.

MOLINARI, P. Câmbio: a maior preocupação do agronegócio brasileiro em 2006. **Ave World**. Ano 3, n. 19. 2006.

MORAES, S.R.P.; TINOCO, I.F.F.; BAETA, F.C.; CECON, P.R. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.

MORROW, C. Poultry management, health and disease in hot climates. JORDAN, F.; PATTISON, M.; ALEXANDER, D.; FARAGHER, T. **Poultry Disease**. 5th Edition, London, W. B. Saunders. 2001. Section 7, Chapter 39, p. 496-504.

MOURA, D. J. Ambiência na produção de aves de corte. In: SILVA, I. J. O. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba – SP, v.2. 2001. p. 75-149.

MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; QUEIROZ, M. P. G.; AMENDOLA, M. Estimativa do ITGU em diferentes orientações de galpões de frangos de corte, usando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, sup. 6, p. 133, 2004.

NÄÄS, I. A.; CURTO, F. P. Avicultura de precisão. In: DA SILVA, I. J. O. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba – SP, Vol.1. 2001. p. 01-30.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, NRC **Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition**. National Academy Press, Washington, DC. 1984. 155 p.

NEELIN, J.D.; MÜNNICH, M.; SU, H.; MEYERSON, J.E.; HOLLOWAY, C.E. Tropical drying trends in global warming models and observations. **Proceedings of the National Academic science**, v. 103, n. 16, 6110-6115, 2006.

NIENABER, J. A.; HAHN, G. L. Engineering and management practices to ameliorate livestock heat stress. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE CIGR. 2nd Technical Section. NEW TRENDS IN FARM BUILDINGS. Evora, Portugal. May, 2004. CD-Rom.

OLIVEIRA, G.A.; OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; VALÉRIO, S.R.; ORLANDO, U.A.D.; VAZ, R.G.V. Influência do ambiente térmico sobre o desempenho de frangos de corte dos 22 aos 42 dias de idade. Anais: XXXVIII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2001. FEALQ. Piracicaba. 2001. P. 26-27.

OLIVEIRA, S.R.M.; YAMAGISHI, M.E.B.; BORRO, L.C.; FALCÃO, P.R.K.; SANTOS, E.H.; VIERIRA, F.D.; MAZONI, I.; JARDINE, J.G.; NESICH, G. Uma metodologia para a seleção de parâmetros em modelos de classificação de proteínas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v.14, 18 p., 2006.

OWADA, A. N.; NÄÄS, I. A. Utilização da lógica *fuzzy* para a avaliação do bem-estar de frangos de corte. IN: SIMCRA, 2006. 2006, Campinas-SP. **Resumos do Simpósio de Construções Rurais e Ambientes Protegidos**. CD-ROM.

PENZ JR., A. M. Você acredita em modelos? **Ave News: Boletim Técnico Para Funcionários e Clientes da Nutron Alimentos**. N. 11, p. 1-2, 2002.

PERDOMO, C. C. Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2001. FEALQ. Piracicaba. 2001. P. 91-110.

PITARELLO, D. J. M. **Estimativa de conforto térmico aplicado à produção de suínos, utilizando modelos em escala distorcida**. 1994. 54 p.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

QUINLAN, J.R. **C4.5**: Programs for machine learning. Morgan Kaufmann Publishers, 1993, 302 p.

QUINLAN, J.R. Improved use of continuous attributes in C4.5. **Journal of Artificial Intelligence Research**, v. 4, p. 77-90, 1996.

REZENDE, S. O.; PUGLIESI, J. B.; MELANDA, E. A.; DE PAULA, M. F. Mineração de Dados. In: REZENDE, S. O. **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. São Paulo. Ed. Manole. 2005. p. 307-336. 2005.

ROBINSON, P. J. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology**, v. 40, n. 4, p. 762-775, 2001.

ROENIGK, W. Chicken USA: os caminhos cruzados das exportações americanas e brasileiras. **Ave World**, ano 3, n. 14. p.28 – 30, 2005.

ROSSATO, P.S.; SARTORI, M.G.B.; MISSIO, L.R. As ondas de calor na região central do RS entre os meses de maio e outubro. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, X, 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro. 2003 Disponível em: <http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/>. Acesso em: 29/02/2008.

RYDER., A.A.; FEDDES, J.J.R.; ZUIDHOF, M.J. Field study to relate heat stress index to broiler performance. **Journal Applied of Poultry Research**, v. 13, p. 493-499, 2004.

SARTOR, V.; BAETA, F. C.; ORLANDO, R.C.; LUZ, M.L.; TINOCO, I.F.F. Efeito de sistemas de resfriamento evaporativo em instalações para frangos de corte. **Engenharia agrícola, Jaboticabal**, v. 20, n.2, p. 87-97, 2000.

SARTOR, V.; BAETA, F. C.; LUZ, M. L.; ORLANDO, R. C. Sistemas de resfriamento evaporativo e o desempenho de frangos de corte. **Scientia Agrícola**, v. 58, n.1, p. 17-20, 2001.

SEVEGNANI, K. B.; CARO, I. W.; PANDORFI, H.; DA SILVA, I. J. O.; MOURA, D. J. Zootecnia de precisão: análise de imagens no estudo do comportamento de frangos de corte em estresse térmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 115 – 119, 2005.

SEVEGNANI, K. B.; MOURA, D. J.; SILVA, I. J. O.; MACARI, M.; NÄÄS, I. A. Perdas de calor sensível e latente em frangos de corte aos 49 dias, expostos à ventilação forçada. Anais: XXXVIII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2001. FEALQ. Piracicaba. 2001. P. 16-17.

SHANNON, C.A. Mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, v.27, p. 379-423, 1948.

SILVA, C. J. M.; SILVA, M. A. N.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; COELHO, A. A. D.; SAVINO, V. J. M.; SILVA, I. J. O. Efeito do tipo de telha de cobertura do galpão na condição ambiental e desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, sup. 8, p. 157, 2006.

SILVA, E.T.; LEITE, D.G.; YURI, F.M.; NERY, F.S.G.; REGO, J.C.C.; ZANATTA, R.A.; SANTOS, S.A.; MOURA, V.V. Determinação do índice de temperatura e umidade relativa (ITU) para a produção de aves na mesorregião metropolitana de Curitiba – PR. **Revista acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 2, n. 3, p. 47-60, 2004.

SILVA, I. J. O. **Desenvolvimento de modelos matemáticos para análise da influência das condições ambientais na produção de ovos**. 1998. 140 p. Teses (Doutorado), Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade de Campinas. Campinas.

SOTTNIK, J. Climatical factors and their effect on production in animal housing. In: 2002 ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2002, Illinois, USA. CIGR XV WORLD CONGRESS. **Anais**. Disponível em: www.asabe.org. Acesso em: 15/12/05.

SPIERS, D.E.; SPAIN, J.N.; LEONARD, M.J.; LUCY, M.C. Effect of cooling strategy and night temperature on dairy cow performance during heat stress. **In: PROCEEDINGS OF ASAE LIVESTOCK ENVIRONMENT**, VI, 2001. Kentucky, 2001. pp. 45-55, 2001.

SPRAGUE Jr., R. H.; WATSON, H. J. **Decision support systems: putting theory into practice**. New Jersey: Prentice Hall. .1989. 419 p.

STACEY, K. F.; PARSONS, D. J.; FISHER C.; FILMER, D.; FOTHERGILL, A. An automatic growth and nutritional control system for broiler production. **Biosystems Engineering**, v. 89, n. 3, p. 363-371, 2004.

ST-PIERRE, N. R.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by livestock industries. **Journal of Dairy Science**, E. Suppl., p. 52-77, 2003.

TABLER, G. T.; BERRY, I. L.; MENDENHALL, A. M. **Mortality Patterns Associated with Commercial Broiler Production**. Disponível em: www.thepoultrysite.com/FeaturedArticle/FATopic.asp?AREA=ProductionMgmt&Display=253. Acesso em: 14/11/2006.

TALPAZ, H.; TORRE, J. R.; SHARPE, P. J. H.; HURWITZ, S. Dynamic optimization model for feeding of broilers. **Agricultural Systems**, vol. 20, p. 121-132, 1986.

TAO, X.; XIN, H. Temperature-Humidity-Velocity Index for market-size broilers. PROCEEDINGS OF THE 2003 ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2003. Paper n. 034037. Nevada-USA, 2003.

TEETER, R. G.; BELAY, T. Broiler management during acute heat stress. **Animal Feed Science Technology**, v. 38, p. 127-142, 1996.

TEETER, R. G.; SMITH, M. O.; OWENS, F. N.; ARP, S. C.; SANGIAH, S.; BREAZILE, E. Chronic heat stress and respiratory alkalosis: Occurrence and treatment in broiler chicks. **Poultry Science**, v. 64, n. 6, p. 1060-1064, 1985.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.

TINOCO, I.F.F. A granja de frangos de corte. In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. **Produção de frangos de corte**. Campinas, SP, FACTA. 2004. Capítulo 4, p. 55-84.

TOYOMIZU, M.; TOKUDA, M.; MUJAHID, A.; AKIBA, Y. Progressive alteration to core temperatura, respiration and blood acid-base in broiler chickens exposed to acute heat stress. **The Journal of Poultry Science**, v. 42, p. 10-118, 2005.

WINDHORST, H.W. Changes in poultry production and trade worldwide. **World's Poultry Science Journal**, v. 62, n. 3, p. 585-593, 2006.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data mining**: practical machine learning tools and techniques. 2nd ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005, 525 p.

YAHAV, S.; GOLDFELD, S.; PLAVNIK, I.; HURWITZ, S. Physiological response of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. **Journal Thermal Biology**, v. 20, n. 3, p. 245-253, 1995.

ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P. Modelling the productivity of naturalized pasture in the north island, New Zeland: a decision tree approach. **Ecological Modelling**, v. 186, p. 299-311, 2005.

ZHANG, B.; VALENTINE, I.; KEMP, P. Predictive modelling of hill-pasture productivity: integration of a decision tree and a geographical information system. **Agricultural Systems**, v. 87, p. 1-17, 2006.