

**UNIVERSIDADE DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
URI - CAMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**ANÁLISE ESTATÍSTICA E MODELAGEM DO PROCESSO
INDUSTRIAL DE RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS DE FRANGO**

BERNARDO DIMER BELEDELLI

**ERECHIM
ABRIL 2014**

UNIVERSIDADE DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
URI - CAMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANÁLISE ESTATÍSTICA E MODELAGEM DO PROCESSO
INDUSTRIAL DE RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS DE FRANGO

BERNARDO DIMER BELEDELLI

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da URI -Campus de Erechim, como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração: Engenharia de Alimentos, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus de Erechim.

ERECHIM, RS - BRASIL

ABRIL 2014

*“A vida por mais difícil e sem sentido que pareça,
ganha sentido quando encontramos uma razão para seguir em frente.”*

AGRADECIMENTOS

Chegada a hora de agradecer a todos que de forma especial, crucial ou por motivo do destino deram sentido para esta tese ocorrer.

- Gostaria de primeiramente agradecer a Deus, pela força e apoio, para as horas de incertezas e dificuldades;
- Lembrar de todo o apoio depositado pela minha empresa em todos os aspectos, e lembrar aqui de todos colaboradores que trabalharam e auxiliaram na coleta de dados, o muito obrigado.
- Falar da minha fonte de inspiração e alicerce em todos os passos da minha vida: minha FAMÍLIA. Então meu muito obrigado minha mãe Lucila, meu pai Dimer (*in memorian*), meus irmãos Guilherme, Daiane, Simone e Daniel amo a todos;
- Ao amor da minha vida, Josiana, pelo companheirismo, respeito, amor e apoio que sempre teve comigo durante esse período, te amo e agradeço ao destino por ter colocado você no meu caminho;
- Aos meus orientadores Márcio, Helen e Mônica, por acreditar no trabalho e no seu aluno, para realização e acompanhamento nesta grande conquista;
- A todos funcionários da URI pelo apoio dos coordenadores de curso e do programa de doutorado, dos professores e colegas. Agradecer por ter passado período de formação acadêmica com um dos melhores grupos de formadores de pessoas para o mundo, que o curso de Engenharia de Alimentos poderia ter;
- Dedico um item para alguém que conheço a 13 anos, e que de maneira simples, alegre e cheio de competência no que seu trabalho, tornou-se meu grande amigo (irmão do destino), Márcio Antonio Mazutti. Nunca vou esquecer de tudo que me ensinou durante a graduação até as aulas no doutorado, agradeço por ter conhecido e ter você como pessoa importante na minha vida, não consigo palavras mas: MUITO OBRIGADO;

SUMÁRIO

2. OBJETIVO GERAL.....	11
2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	12
Coletar dados de temperatura final de carcaça para diferentes condições de processo;.....	12
Avaliar as variáveis do processo de resfriamento de carcaça de frango;.....	12
Avaliar estatisticamente os dados coletados do processo e a interferência destes no resfriamento de carcaças de frango;.....	12
Desenvolver um modelo quadrático para a predição da temperatura final de carcaça em função das variáveis de processo;.....	12
Desenvolver um modelo matemático baseado em redes neurais para a predição da temperatura final de carcaça em função das variáveis de processo.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 MERCADO DA CARNE DE FRANGO.....	13
3.2 IMPORTÂNCIA DO RESFRIAMENTO DE CARCAÇAS NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DA CARNE DE FRANGO.....	16
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PROCESSO DE RESFRIAMENTO DE CARCAÇAS DE FRANGO.....	18
3.5 REDES NEURAI.....	19
3.6 CONCLUSÕES ACERCA DO ESTADO DA ARTE.....	20
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	22
4.2 CORRELAÇÃO E ANÁLISE DA REGRESSÃO.....	25
4.3 MODELO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL.....	25
Para todas as estratégias adotadas, o modelo foi testado em corridas quintuplicado. A selecção da melhor estratégia e arquitetura de RNA foi baseada na média do erro quadrático médio (desempenho) e do coeficiente de regressão (r).....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE PROCESSO.....	28
5.2 ANALISE DE REGRESSÃO DOS DADOS DO PROCESSO.....	32
5.3 MODELAGEM USANDO REDES NEURAI ARTIFICIAIS.....	36
5.3.1 PRIMEIRA ESTRATÉGIA PARA MODELAR O PROCESSO.....	36

5.3.2 SEGUNDA E TERCEIRA ESTRATÉGIA PARA MODELAR O PROCESSO.....	37
5.3.3 QUARTA ESTRATÉGIA PARA MODELAR O PROCESSO.....	39
6. CONCLUSÕES.....	44
O presente trabalho possibilitou a indústria, agregar conhecimento de ferramentas que podem auxiliar no controle de processo e sobre tudo o ganho posterior a análise do processo de conseguir modificar etapas de grande importancia fazendo que o processo torne-se capaz de atender o parâmetro de 7°C intramuscular atendendo as exigencias legais estabelecidas.....	
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

Resumo da Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Alimentos.

ANÁLISE ESTATÍSTICA E MODELAGEM DO PROCESSO INDUSTRIAL DE RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS DE FRANGO

BERNARDO DIMER BELEDELLI

Abril/2014

Orientadores: Marcio Antonio Mazutti

Helen Treichel

Mónica Beatriz Alvarado Soares

O presente trabalho teve como objetivo avaliar estatisticamente as variáveis do processo e propor um modelo matemático utilizando redes neurais para a otimização do processo de resfriamento de carcaças de frango. Inicialmente, a análise de correlação foi utilizada a fim de determinar como as variáveis de processo associadas com a temperatura das carcaças de frango, após o processo de resfriamento por imersão. Com base na análise de correlação, foi proposto um modelo polinomial de segunda ordem para prever a temperatura de carcaças de frango determinando valores para as variáveis independentes. A análise de correlação mostrou-se uma importante ferramenta a ser aplicada industrialmente, permitindo a escolha das variáveis que afetam o processo de resfriamento de carcaças de frango. A análise de correlação mostrou que a interação de primeira ordem e os termos quadráticos das variáveis independentes afeta o processo e devem ser consideradas no modelo. O modelo quadrático foi capaz de explicar ao redor de 45 % da variação de todo processo de resfriamento da carcaça. Assim, o modelo pode ser usado como uma ferramenta para a

tomada de decisões rápidas na indústria ou para prever rapidamente o comportamento do processo de resfriamento dado alguma condição específica. Posterior a esta etapa, um modelo de rede neural artificial (RNA) foi utilizada para prever a temperatura final de carcaças de frangos em escala industrial. As variáveis estudadas foram peso médio de carcaça, velocidade do pré *chiller* e *chillers*, temperatura média do pré-*chiller* e *chillers*, a ausência ou presença de borbulho no pré-*chiller* e *chiller* e intensidade do borbulho, sendo estes considerados como entrada para a RNA. Para o treinamento e validação da rede neural, as entradas foram combinadas para minimizar a soma ponderada dos quadrados dos resíduos, sendo investigadas dez funções de transferência, três algoritmos de treinamento e duas arquiteturas diferentes. O melhor resultado foi obtido usando uma RNA composta de duas camadas intermediárias (10 nós em cada camada), *radial bias* como função de transferência e algoritmo *gradient descent backpropagation* para o treinamento. Usando essa arquitetura o coeficiente de regressão foi 0,9265. Mesmo com muitas variáveis que afetam o processo de resfriamento industrial das carcaças de frangos, a RNA desenvolvida revelou encaixe satisfatório da temperatura final de carcaças de frangos. Este modelo pode ser ainda utilizado para fins de otimização, melhoria da qualidade do processo de carcaças de frango, bem como na melhoria do processo como um todo.

Palavras chaves: resfriamento de carcaça de frango, análise estatística, rede neural.

Abstract of These presented to Food Engineering Program as a partial fulfillment of the requirements for the Doctor in Food Engineering.

STATISTICAL ANALYSIS AND MODELLING OF INDUSTRIAL COOLING PROCESS CHICKEN CARCASSES

BERNARDO DIMER BELEDELLI

Abril/2014

Advisors: Marcio Antonio Mazutti

Helen Treichel

Mónica Beatriz Alvarado Soares

In this work the correlation analysis was employed in order to determine how the process variables are associated with the temperature of chicken carcasses after the cooling process by immersion. Based on the correlation analysis, a second-order polynomial model was proposed to predict the temperature of chicken carcasses given values for the independent variables. The correlation analysis showed to be an important tool to be applied industrially, because it enabled the choice of the variables that truly affect the cooling process of chicken carcasses. In addition, the correlation analysis demonstrated that first-order interaction and quadratic terms of independent variables also affect the process and should be considered in the model. From these findings, it was proposed a quadratic model capable to explain about 45% of the all variation of cooling process. This model can be used as a tool for making quick decisions in the industry or to predict quickly the behavior of cooling process given some specific condition. After this analysis, an artificial neural network (ANN) was used to

predict the final temperature of chicken carcasses in an industrial scale. For this purpose, temperatures of chicken carcasses were obtained in a slaughterhouse at the end of the cooling process. The variables considered to influence the temperature of carcasses were average carcass weight, pre chiller and chillers velocities, pre chiller and chillers average temperatures, the absence or presence of bubbles in pre chiller and chiller and bubbles intensity, which were considered as input for the ANN. For training and validation of the feed forward neural network, the above inputs were combined to minimize the weighted sum of the squares of the residues, being tested ten transfer functions, three training algorithms and two different architectures. The best result was obtained using an ANN composed of two hidden layer (10 nodes in each layer), radial bias as transfer function and gradient descent backpropagation algorithm for training. Using this architecture the regression coefficient was 0.9265. Even with many variables affecting the industrial cooling process of the chicken carcasses, the ANN developed showed satisfactory fitting of the final temperature of chicken carcasses. This model can be further used for optimization purposes, improving the process quality of chicken carcasses as well as process profitability.

Key words: cooling process of chicken carcasses, statistical analysis and artificial neural network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Relação dos 10 maiores produtores de carne de frango no mundo	14
Figura 2	Fluxograma processo de produção frigorífico de aves	19
Figura 3	Diagrama esquemático do processo de resfriamento de carcaças de frango	20
Figura 4	Variabilidade da temperatura média final das carcaças obtidas durante a avaliação do processo	19
Figura 5	Distribuição dos dados obtidos nos testes em função das faixas de temperatura	28
Figura 6	Dados previstos versus valores reais de processo para temperatura final de carcaça	33
Figura 7	Dados previstos versus dados do processo para temperatura final de carcaça obtidos nos testes 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d).	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação de produtores de carne de frango a nível mundial	13
----------	--	----

Tabela 2	Produção de Frango a nível mundial	14
Tabela 3	Funções de transferência testadas	26
Tabela 4	Correlação das variáveis lineares do processo com a temperatura da carcaça de frango. .	32
Tabela 5	Correlação dos termos quadráticos de variáveis de processo com a temperatura de carcaças de frango.	33
Tabela 6	Parâmetros estimados para o modelo proposto	34
Tabela 7	ANOVA para o modelo proposto	35
Tabela 8	Desempenho das diferentes funções de transferência na predição de temperatura de resfriamento final de carcaça utilizando	37
Tabela 9	Desempenho das cinco funções de transferência combinados com três algoritmos para treinar a RNA na previsão de temperatura final de resfriamento da carcaça.	38
Tabela 10	Desempenho das cinco funções de transferência combinado com três algoritmos para treinar o RNA na previsão de temperatura final da carcaça, excluindo os outliers.	40
Tabela 11	Desempenho de RNA na previsão de temperatura final de carcaça para diferentes arquiteturas	42

1. INTRODUÇÃO

As mudanças no mercado de frango ocorridas nas últimas décadas têm transformado o Brasil em um importante produtor e fornecedor de produtos industrializados de frango. A avicultura brasileira é considerada uma das mais modernas do mundo, apresentando índices de produtividade além dos esperados, no que se diz respeito a países em desenvolvimento (UBA, 2008).

As exigências pela qualidade da carne de frango são cada vez maiores, tanto em relação ao mercado interno como externo, sendo que o consumidor está cada vez mais atento aos atributos de qualidade em relação a essa carne. Tais exigências refletiram em mudanças na gestão de setores envolvidos com o agronegócio da carne de frango e melhoria na cadeia produtiva, principalmente no que se refere ao alto padrão dos processos de congelamento e da logística na comercialização deste produto (VIEIRA, 2007).

Para atender às exigências dos mercados a qualidade da carne de frango é preciso otimizar fatores como a velocidade de resfriamento e a temperatura. A demanda desse produto depende da percepção de qualidade do consumidor. Como fatores de qualidade são considerados como critérios objetivos para sua boa aceitação a aparência, a capacidade de retenção de água, suculência, maciez, cor da pele, cor da carne, perdas de peso por cozimento e vida útil (BUENO, 2008).

Dentro da indústria frigorífica, o resfriamento de carcaças (ou pré-resfriamento, segundo classificação do Ministério da Agricultura e do Abastecimento – MAPA) é considerado a etapa mais importante durante o processamento. O adequado processo de resfriamento é fundamental para a preservação da qualidade das carcaças. O resfriamento das carcaças, logo após o abate e evisceração é uma exigência da legislação nacional e também do mercado internacional, sendo estes último, em geral, mais rigorosos ainda nos seus índices de controle, como a temperatura final de carcaça e a quantidade de água absorvida (CARCIOFI, 2005).

A redução da temperatura da carne de frango é necessária para o controle do crescimento microbológico e evitar alteração de gosto e textura, sendo estes indicadores de qualidade da carne (SAVELL, 2005; JAMES et al., 2006). O processo de

resfriamento mais comum consiste na imersão da carcaça de frango em grandes tanques com agitação, água gelada em contra fluxo (MA et al., 2000; KLASSEN et al., 2009). Neste tipo de sistema, várias variáveis que afetam a performance do processo de resfriamento do frango em escala industrial, tais como: a massa inicial, a temperatura do frango, a velocidade de abate, a retenção temporária em *chillers*, vazão e temperatura da água e o sistema de renovação do fluido refrigerante utilizado, entre outras (KLASSEN et al., 2009).

O controle da temperatura final das carcaças dentro de uma faixa permitida é uma ferramenta indispensável para controlar o processo e para atender o padrão de qualidade exigido pelos consumidores. A determinação da correlação entre as variáveis listadas é um procedimento alternativo de monitoramento, controle e melhoria de um processo através de análise estatística. Como resultado da implementação da análise de correlação, muitos objetivos poderiam ser alcançados, tais como a melhoria de um sistema de qualidade avançada, onde as variáveis de processo que afetam realmente o resfriamento de carcaças de frango podem ser determinadas de forma rápida e direta. Outra alternativa para identificar variáveis significativas e controlar o processo é o desenvolvimento de modelos empíricos em função de variáveis de processo, principalmente os modelos baseados em rede neural artificial (ALVES e NASCIMENTO, 2002; MARTINS et al., 2011; KLASSEN et al., 2009; SILVEIRA et al., 2013; DA CRUZ et al., 2009; Gontarski et al., 2000). Neste sentido, o uso de um modelo matemático de confiança do processo, a partir de dados experimentais, pode ser uma excelente ferramenta para o controle de processo (MAZUTTI et al., 2009).

O processo de resfriamento de carcaças de frango é complexo, devido ao grande número de fatores que interferem no processo. A matéria-prima não possui geometria definida, possui grande variabilidade de peso e dimensão, tem características específicas entre machos e fêmeas, apresentam diferenças entre raças, entre outras. Porém, é verificado um número limitado de trabalhos na literatura que reportam o uso de modelos matemáticos, empíricos ou não, para predizer a quantidade de água absorvida e temperatura final de carcaça após o resfriamento. Além disso, há uma carência de estudos focando na avaliação da influência de cada variável na temperatura de carcaça, principalmente baseados em ferramentas estatísticas.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar estatisticamente a influência das variáveis de processo na temperatura final de carcaça, procurando estabelecer um modelo matemático. O desenvolvimento do modelo possibilitará o seu uso na empresa como uma ferramenta de otimização e controle de processo, uma vez que conhecendo as características da matéria-prima podem-se ajustar as variáveis operacionais de uma maneira de se obter o valor desejado de temperatura.

O trabalho está dividido em sete capítulos incluindo introdução, a qual é o primeiro capítulo dessa tese. No segundo capítulo consta os objetivos, passando para o terceiro capítulo onde serão descritos assuntos que fazem parte da revisão de literatura. Dentro os temas abordados têm-se o histórico da avicultura de corte, trazendo informações sobre o mercado da carne (interno e externo), além da legislação vigente para comercialização da carne de frango no Brasil e os diferentes tipos de congelamento, bem como resfriamento de carcaças de frangos. No quarto capítulo serão descritos o procedimento experimental adotado na realização deste trabalho. No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos. Nos capítulos 6 e 7 são apresentadas as conclusões e as referências bibliográficas usadas para embasar este trabalho.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi determinar as variáveis que apresentam influência no processo industrial de resfriamento de carcaças de frango por imersão em um

frigorífico localizado no oeste catarinense e desenvolver um modelo matemático para a predição da temperatura final das carcaças antes do espostejamento.

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Coletar dados de temperatura final de carcaça para diferentes condições de processo;
- Avaliar as variáveis do processo de resfriamento de carcaça de frango;
- Avaliar estatisticamente os dados coletados do processo e a interferência destes no resfriamento de carcaças de frango;
- Desenvolver um modelo quadrático para a predição da temperatura final de carcaça em função das variáveis de processo;
- Desenvolver um modelo matemático baseado em redes neurais para a predição da temperatura final de carcaça em função das variáveis de processo

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MERCADO DA CARNE DE FRANGO

Ao longo dos anos a avicultura brasileira vem-se destacando em sua produção, com o aumento da exportação e do consumo interno, a carne de frango deixou de ser uma carne nobre destinada exclusivamente às classes superiores, hoje está difundido por todas as classes.

Embora o produto frango seja considerado um mercado de *commodities*, onde o preço é a variável principal de concorrência, há uma clara segmentação desse mercado que demanda uma ação dirigida da empresa (Farina, 1997). O fator preço não deve ser o único determinante da competitividade da agroindústria do frango. É preciso que as empresas trabalhem sua estratégia de marketing, identificando nichos de mercado, diferenciando produtos para satisfazer essas demandas, valorizando a qualidade nutricional de seu produto final, a qualidade dos insumos e a conservação do meio ambiente (Santos Filho, 1996).

As empresas processadoras de carne de frango, acompanhando as necessidades dos consumidores, passaram a oferecer o frango industrializado, que antes era encontrado no mercado apenas como o tradicional frango inteiro. A mudança nos hábitos do consumidor influenciou na oferta de produtos em maior número e mais elaborados. Para obter produtos mais elaborados, é preciso que a indústria, no seu sistema produtivo, garanta altos padrões de qualidade em todas as etapas do processo produtivo, ou seja, desde o fornecimento dos insumos de produção agrícola e industriais até a venda no varejo (Pereira, 2007).

Como a agroindústria no Brasil é um ramo de atividade sujeita à concorrência em nível internacional, é necessário produzir a custos menores, mas também incrementar a qualidade dos produtos, concentrar esforços nos industrializados, antecipar-se às principais tendências do mercado consumidor e articular-se comercialmente para conseguir se apropriar dos resultados, realizando investimentos de processo que gere aumento da qualidade e produtividade (Pereira, 2007).

Segundo dados da associação Brasileira de avicultura de 2013 o Brasil é o terceiro produtor de carne de frango a nível mundial e o primeiro em exportação com 3.943 milhões de toneladas como observa-se na Tabela 1 e 2.

Tabela 1 – Relação de produtores de carne de frango a nível mundial

AS CARNES AVÍCOLAS NO MUNDO				
10 maiores PRODUTORES				
(milhões de toneladas)				
PAÍS	2011	2012	VAR.	% DO TOTAL
EUA	19,780	19,424	-1,8%	18,8%
China	17,858	18,378	2,9%	17,8%
Un. Europeia	12,075	12,147	0,6%	11,7%
Brasil	11,641	11,990	3,0%	11,6%
Índia	2,900	3,200	10,3%	3,1%
Rússia	2,876	3,048	6,0%	2,9%
México	2,798	2,854	2,0%	2,8%
Argentina	1,724	1,800	4,4%	1,7%
Irã	1,723	1,775	3,0%	1,7%
Indonésia	1,728	1,760	1,9%	1,7%
Subtotal	75,103	76,376	1,7%	73,8%
Demais	26,491	27,097	2,3%	26,2%
TOTAL	101,594	103,473	1,8%	100,0%
Fonte dos dados básicos: FAO Elaboração e análises: AVISITE				

Tabela 2 – Produção de Frango a nível mundial

Pais	Produção (milhões ton)
Brasil	3.943

EUA	2.966
EU-27	1.100
Tailândia	460
China	410
outros	917

Fonte: UBA, União Brasileira de Avicultura, 2014

Diante do aumento da competição entre as empresas e um esforço maior pela sobrevivência, exige-se maior capacidade de gestão e controle dos negócios, o que indica a necessidade de profissionalização e planejamento estratégico, com definição clara de objetivos e condições para atingi-los. O consumidor passa a ter um papel central na agroindústria e as empresas devem procurar satisfazer suas necessidades, diferenciando produtos, oferecendo melhores serviços e inovando, através de busca de novas tecnologias de processamento oferecendo novos produtos, com gramatura específica ou produtos com atmosfera modificada (embalados a vácuo) (Santos Filho, 1996).

Neste sentido, estratégias de diferenciação de produtos têm sido adotadas pelas empresas nacionais de grande porte com o intuito de atender às mudanças nos hábitos e tendências alimentares dos consumidores, aumentando sua capacidade de concorrência no mercado. As empresas de menor porte, quando inovam em produtos, começam processando alguns cortes de frango e embutidos (Pereira, 2007).

O consumidor tem a sua disposição um produto barato e de excelente qualidade sanitária e nutricional, com uma grande variedade de produtos “*in natura*” e processados, tais como: frango inteiro e cortes congelados, resfriados e industrializados, na forma de empanados, marinados, temperados, cozidos e outros. Os produtos de maior valor agregado que se encontram nos supermercados, geralmente, são de exclusividade das grandes empresas. No mercado interno brasileiro, a ave inteira é responsável por 54% das vendas, as partes ou cortes de frango por 40% e os produtos industrializados por apenas 6%, enquanto no mercado internacional os cortes representam 58,7% das vendas nacionais (Martinelli e Souza, 2005).

Deve-se ressaltar que a avicultura brasileira é reconhecida hoje como das mais desenvolvidas do mundo, com índices de produtividade realmente excepcionais. Atingimos esse patamar graças a programas de qualidade implementados em todos os

elos da cadeia nos últimos anos, com destaque para genética, nutrição, manejo, biossegurança, boas práticas de produção, rastreabilidade e programas de bem-estar animal e de preservação do meio ambiente.

A cadeia produtiva da avicultura de corte é, provavelmente, uma das cadeias produtivas brasileiras com maior nível de coordenação, conferindo-lhe grande competitividade no mercado mundial. Estima-se que 75% da produção nacional de frangos estejam sob a coordenação de grandes empresas mundiais ou nacionais (Carletti Filho, 2005). Entretanto, a garantia da sustentabilidade da cadeia passa pela distribuição dos ganhos por ela obtidos ao longo de toda a sua extensão, ou seja, todos os agentes econômicos envolvidos devem ser devidamente remunerados, para, primeiro, permanecer na atividade e, segundo, continuar a fazer os investimentos necessários ao aumento da competitividade da cadeia produtiva como um todo.

Nas últimas duas décadas, a produção de frango de corte tem evoluído de forma bastante significativa no Brasil. O dinamismo da atividade avícola está atrelado aos constantes ganhos de produtividade, sobretudo, através da melhora dos índices de conversão alimentar, dos ganhos nutricionais, da pesquisa em genética, da maior automação dos aviários e de um melhor manejo (Pereira, 2007).

O consumo do frango industrial produziu grandes modificações nos hábitos de consumo popular, pois antes, o frango dito caipira era o preferido pelo consumidor. O frango industrial impõe-se primeiramente nos supermercados com um público consumidor fundamentalmente de classe média. Com o decorrer do tempo esse alimento chega a ingressar no consumo popular a ponto de ser considerada uma das âncoras de sustentação da então nova política econômica (Pereira, 2007).

3.2 IMPORTÂNCIA DO RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DA CARNE DE FRANGO

O processo de produção da carne de frango pode ser dividido nas seguintes etapas: recepção, atordoamento, sangria, escaldagem, depenagem, escaldagem dos pés e das cutículas, evisceração, lavagem final, resfriamento, gotejamento, embalagem, armazenamento e aproveitamento dos subprodutos. Dentre as operações envolvidas no

processamento da carne de frango, o resfriamento *post mortem* é muito importante para a manutenção da qualidade final da carne. A temperatura *post mortem* é um fator crítico para a obtenção da qualidade, sendo necessário iniciar a redução da temperatura da carcaça tão logo possível após o abate. Com este procedimento, as reações bioquímicas que ocorrem no *post mortem* são reduzidas, evitando a queda rápida do pH e a ação descontrolada das enzimas proteolíticas naturais, além de inibir o crescimento microbiológico (Mastrogiacomo, 2006).

Há vários métodos de resfriamento de aves. O resfriamento de carcaças pode ser realizado a seco, por resfriamento em câmaras frigoríficas, por refrigeração com dióxido de carbono, por imersão contínua em água gelada, por aspersão com água gelada ou pela associação dos métodos. O processo mais comum no Brasil é a imersão das carcaças em tanques longos, chamados de *chillers*, com uma mistura de água e gelo (Beraquet, 1994).

Nesse sistema, as carcaças são suspensas em um sistema de transporte por trilhos que as leva para o pré-*chiller*. Neste tanque, as mesmas entram com temperatura variando entre 38-40°C e, através do movimento helicoidal contínuo, com auxílio de rosca sem fim dotada de pás auxiliares, recebem o primeiro choque térmico e lavagem, com água sob temperatura ambiente. Na sequência, são automaticamente transportadas ao *chiller* (que pode ser 1 ou 2 *chillers* em série) resfriador com temperatura de 0°C, saindo do mesmo com temperatura de 7°C no centro do músculo do peito. A seguir, as carcaças são novamente penduradas no sistema de transporte, para possibilitar a perda do eventual excesso de água aderida e, desta forma, garantir a absorção máxima de água que é de 8% (PINTO, 2006).

Em estudos foram comprovados que o processo de refrigeração por imersão contínua em água tem riscos consideráveis, sendo que alguns países decidiram proibir o uso deste método. Porém, quando o conjunto de operações do frigorífico é realizado de forma higiênica como um todo, de forma que as carcaças já entrem nos *chillers* adequadamente limpas, comprova-se que este sistema pode ser considerado higiênico e que as carcaças saem dos *chillers* tão limpas quanto entraram. O sistema de imersão em *chiller* tem a vantagem de que a água resfria as carcaças mais rapidamente que qualquer outro método, utilizando um menor espaço físico (PINTO, 2006).

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA) realiza através do Serviço de Inspeção Federal (SIF) o controle de absorção e temperatura de carcaça nos frigoríficos. A portaria 210 de 10 de novembro de 1998 prevê que a água no sistema de pré-resfriamento (pré-*chiller*) não deve ser superior a 4°C e deve estar em constante renovação, podendo a mesma ser hipoclorada, permitindo-se o máximo de 5 ppm de cloro (MAPA, 1998). A temperatura da água residente, medida nos pontos de entrada e saída das carcaças do sistema de pré-resfriamento por imersão não pode ser superior a 16°C e 4°C, respectivamente, no primeiro e último estágio, sendo o tempo máximo de permanência no primeiro *chiller* de trinta minutos (MAPA, 1998).

O processo de resfriamento das carcaças é necessário pela presença de bactérias mesófilas. Poucas delas podem se multiplicar a temperaturas menores que 7°C. Por isso, o MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento), admite no final do processo de pré-resfriamento, uma temperatura de carcaça igual ou inferior a 7°C, para as carcaças de congelamento imediato.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PROCESSO DE RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS DE FRANGO

Embora a análise estatística de processos seja bem estabelecida, tem-se uma grande dificuldade de se encontrar artigos referentes à sua aplicação na indústria. Isto se deve ao fato de que a maioria dos trabalhos realizados não foi publicado servindo como base para a melhoria de algum processo ou produto dentro da indústria que o aplicou. Esta estratégia é importante para manter a competitividade da empresa, porém dificulta o levantamento de dados no momento de uma revisão da literatura acerca do tema.

Carciofi (2005), Carciofi e Laurindo (2007) estudaram diversos aspectos relacionados com a redução da temperatura e com a absorção de água por carcaças resfriadas por imersão, além de uma avaliação das condições operacionais dos *chillers* industriais. Foram avaliados em dois *chillers* pilotos os efeitos das variáveis de processo sobre a evolução da temperatura do centro do músculo peitoral e sobre o

percentual de água absorvido durante o resfriamento por imersão. Os parâmetros de processo avaliados foram a temperatura da água de resfriamento (1-15°C), agitação do meio de resfriamento (por bomba para a recirculação de água ou por injeção de ar comprimido) e a profundidade das carcaças em relação à superfície da água (180, 845 e 1470 mm). Para maiores temperaturas, o aumento da pressão hidrostática e a agitação do meio de resfriamento proporcionaram uma maior taxa de absorção de água. A agitação também proporcionou maior redução da temperatura das carcaças.

Cima (2006) aplicou o Controle Estatístico do Processo (CEP), através do ciclo PDCA, numa empresa de abate e industrialização de frango de corte, localizada na Região Oeste do Paraná. As variáveis monitoradas foram a temperatura da água no sistema de pré-resfriamento, temperatura da água no sistema de resfriamento e temperatura da carcaça na saída do sistema. Os dados foram coletados durante os meses de janeiro de 2005 a maio de 2006. A coleta foi realizada diariamente considerando-se subgrupos semanais e diários. A partir dos resultados, ficou evidenciado que o processo de resfriamento de carcaças de frango não foi capaz de produzir carcaças de frangos com grau zero de defeitos.

3.5 REDES NEURAIS

O neurônio artificial é uma estrutura lógica que procura simular a forma, o comportamento e as funções de um neurônio biológico. Combinando diversos neurônios artificiais se pode formar o que é chamado de rede neural artificial. As redes neurais artificiais são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neuronal de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência (Klassem, 2009).

As redes neurais podem ser utilizadas na resolução de uma grande classe de problemas encontrados em várias áreas aplicadas: classificação e identificação de padrões, diagnóstico de sistemas e comportamentos, análise de sinais e de imagens, otimização e controle de processos. Alguns trabalhos demonstram a eficiência da aplicabilidade de redes neurais na indústria de alimentos.

Torrecilla et al., (2004) utilizou uma rede neural para modelar o comportamento térmico dos alimentos durante o seu processamento à alta-pressão, sem a necessidade do conhecimento das propriedades termofísicas dos mesmos nas condições de pressão estabelecidas. Observando que a utilização desta técnica previu o tempo necessário para o equilíbrio da temperatura de uma amostra líquida após a sua pressurização com uma precisão razoável.

Cabeddu et al., (2014) desenvolveram duas cadeias de redes neurais artificiais híbridas aplicáveis no processo de extrusão na indústria de alimentos. Uma rede neural para a previsão de variáveis, que são a velocidade do parafuso de extrusão e o teor de água, e outra para prever a instabilidade do processo sobre as variáveis usando um neurocontrolador. O mesmo obteve erro máximo cometido para cada rede neural abaixo de 10 %, sendo que a previsão da velocidade do parafuso conteve um erro de 4,1 % e para o teor de água um erro máximo de 1,6 %.

Estudos realizados por Hernandez-Perez et al., (2004) propuseram um modelo preditivo para a transferência de calor e massa usando uma rede neural artificial, com o objetivo de prever em linha a temperatura e a umidade durante a cinética de secagem de mandioca e de manga. O modelo proposto pode ser utilizado para estimação de parâmetros em linha e controle do processo de secagem.

Nos estudos realizado por Silveira et al., (2013) utilizaram uma rede neural artificial para prever a temperatura final das carcaças de galinha em escala industrial. No estudo, o coeficiente de regressão foi de 0,9265, indicando que a rede neural artificial pode explicar 86 % da variação total dos dados do processo.

De acordo com Klassen (2008) aplicou redes neurais artificiais para modelar o processo de resfriamento de carcaças de frango, prevendo a temperatura e a absorção de água. Os resultados obtidos demonstraram que as redes neurais não foram eficientes para representar a temperatura de saída da carcaça, embora tenha sido eficiente para prever a quantidade de água absorvida.

3.6 CONCLUSÕES ACERCA DO ESTADO DA ARTE

A partir da revisão da literatura fica evidente que há uma lacuna referente ao emprego de ferramentas estatísticas para análise e modelagem de processos. Os trabalhos reportados referem-se ao uso de modelos matemáticos, principalmente, redes neurais, para prever a absorção de água e temperatura final de carcaça em função das variáveis de processo. Com exceção do trabalho de Carciofi (2005) ou Carciofi e Laurindo (2007), todos os trabalhos abordam o uso de dados industriais para gerar um modelo. Porém, nenhum trabalho avaliou estatisticamente a influência das diferentes variáveis de processo sobre a temperatura final de carcaça. Outra carência verificada é o uso de modelos estatísticos para prever a temperatura final, uma vez que a sua aplicação a nível industrial é mais prática, devido à menor complexidade. Neste sentido, faz-se importante o estudo da análise e modelagem do processo de resfriamento de carcaças.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a descrição do processo de produção, bem como a metodologia utilizada para o desenvolvimento do presente estudo, sendo que a mesma contempla as faixas das variáveis empregadas na análise estatística do processo.

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo de abate de aves segue um fluxo praticamente idêntico em todos os frigoríficos (Figura 1), sendo respeitada a sequência e os devidos cuidados em cada fase do abate. O fluxograma abaixo demonstra o processo de abate de aves:

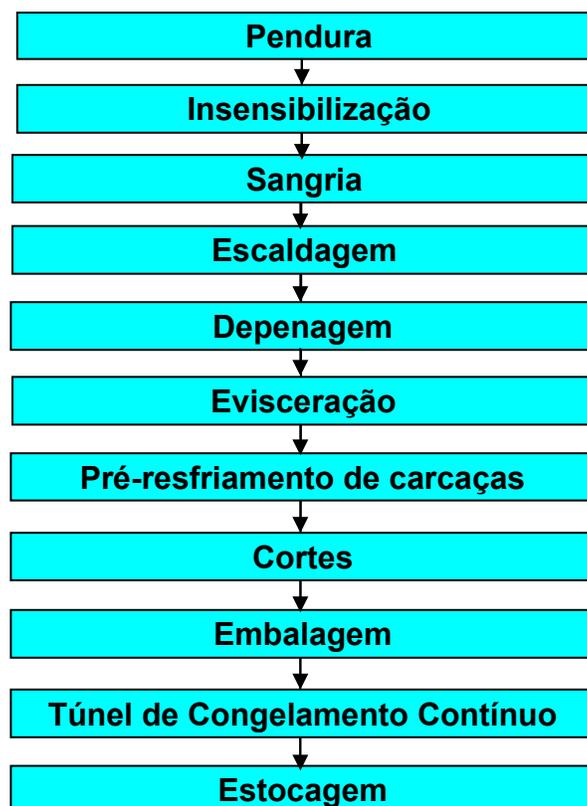


Figura 1 - Fluxograma processo de produção em um frigorífico de aves

O processo de produção do frigorífico de abate do frango se inicia no setor da pendura, a ave ainda viva será pendura, e levada através de um transportador aéreo

chamado de nórea para um tanque contendo água e corrente elétrica, onde a ave será insensibilizada. Após na etapa de sangria da ave é realizada através de um disco automático ou corte manual. Depois o frango é imerso em um tanque de escaldagem que utiliza de água de 58° a 62°C, o qual tem por objetivo facilitar a retirada das penas da ave, passando pelas depenadeiras, máquina que com uso de dedos de borracha que realizando movimentos circulares, realiza a retirada de todas as penas. Após o frango estar livre das penas, segue a etapa de evisceração onde ocorre a retirada das vísceras e miúdos internos (coração, fígado e moela) do frango, passando posteriormente a carcaça por uma linha inspeção para retirada de partes ou condena total da carcaça, e depois é encaminhada para o setor de pré-resfriamento, onde a mesma passa da temperatura normal ao redor de 38°C para uma temperatura média ao redor de 7°C. A carcaça resfriada pode então ser embalada inteira ou por fracionamento da mesma. Os cortes obtidos podem ser embalados e posteriormente congelados ou pode ainda ser realizado o processo de congelamento das partes antes do produto ser embalado, dando-se o nome de produto congelado individualmente (IQF - *Individuality Quick Frozen*).

A Figura 2 apresenta um diagrama esquemático do processo de resfriamento de carcaças, o qual é composto por um pré-chiller, *chiller 1* e *chiller 2*. Todas as carcaças previamente avaliadas pela inspeção federal seguem para o pré *chiller* que serve como primeira etapa de resfriamento e lavagem da carcaça. Para resfriamento final, as carcaças passam por dois *chillers* interligados com água gelada em contra fluxo para assim atingirem a temperatura menor que 4°C medida entre a pele e o peito da carcaça estando apta assim a ser encaminhada para sala de cortes.

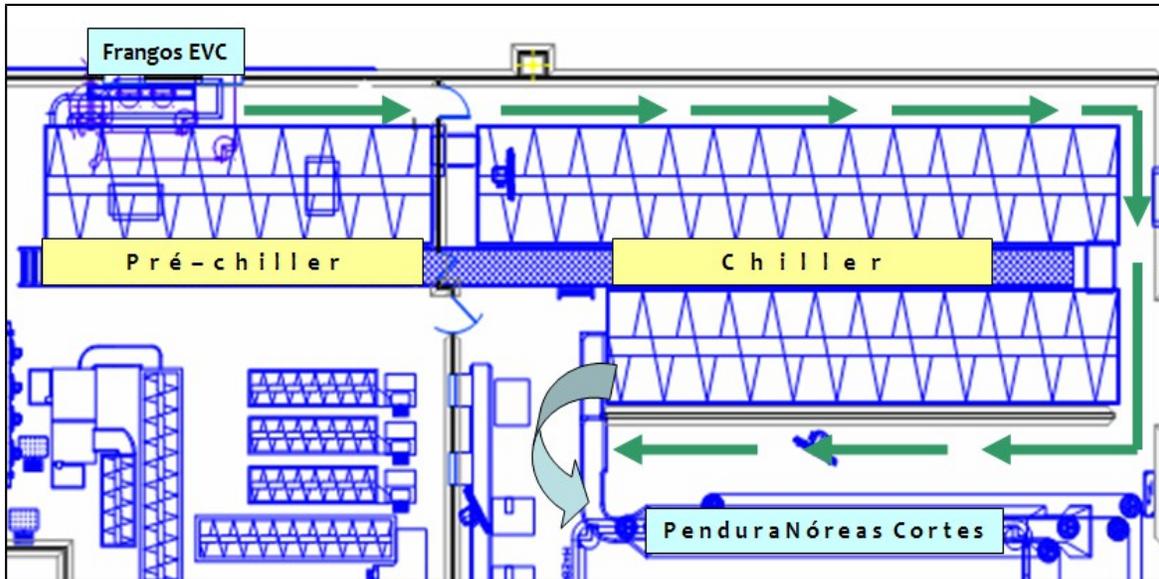


Figura 2 - Diagrama esquemático do processo de resfriamento de carcaças de frango
 Fonte: Setor de manutenção unidade.

As variáveis consideradas importantes no resfriamento, bem como a faixa avaliada, foram as seguintes:

1. Peso médio de carcaça (Pmc): Peso variando na faixa de 2240 – 3010 g;
2. Velocidade do pré-chiller (vPC): 5 a 10 potenciômetros
3. Velocidade do chiller 1 (vC1): 2 a 3 potenciômetros
4. Velocidade do chiller 2 (vC2): 5 a 10 potenciômetros
5. Temperatura média do pré-chiller (TmPC): 5,7 a 13,0°C
6. Temperatura média do chiller 1 (TmC1): 0,4 a 4,6°C
7. Temperatura média do chiller 2 (TmC2): 0,3 a 2,4°C
8. Borbulho pré-chiller (bPC): 0 a 3
9. Borbulho chiller 1: 0 a 3

Quando ocorre a citação das velocidades do pré-chiller, chiller 1 e 2, esta encontra-se em uma unidade de potenciômetros, que representa uma frequência que cada motor utiliza para mover as carcaças de frango contidas em cada tanque, e isto, vai representar ao final quanto tempo de permanência as carcaças ficaram dentro do mesmo. Já com relação a intensidade do borbulho refere-se a entrada de ar no tanque do pré-chiller e chiller 1, pela parte inferior do tanque fornecida de forma forçada por um compressor radial, sendo suas unidades descritas de 0 (borbulho desligado) até 3 (todo fluxo de ar aberto).

Os dados foram coletados no período de agosto a outubro de 2010, em uma empresa de alimentos localizada no oeste catarinense. Para cada lote, que foi expresso em termos do peso médio da carcaça. Foram coletadas 50 carcaças no final do processo de resfriamento para a determinação da temperatura final, sendo utilizado o valor médio na geração dos modelos matemáticos, bem como na avaliação estatística das variáveis de processo. A temperatura média de carcaça foi determinada em 171 lotes diferentes, com um total de verificação de temperatura de 8550 carcaças.

Todas as variáveis e medidas estudadas no processo de resfriamento de carcaça foram analisadas de acordo ao comportamento do processo durante o fluxo normal de produção na indústria conforme necessidade do processo, não sendo estimados limites ou intervalos fixos para desenvolvimento do estudo.

4.2 CORRELAÇÃO E ANÁLISE DA REGRESSÃO

A análise de correlação foi usada para avaliar como e em que medida o valor linear, a interação e a combinação quadrática de variáveis de processo são associados com a temperatura de carcaças de frango. Para isso, foi utilizada a caixa de ferramentas básicas Estatísticas/Matriz de Correlação do software Statistica 8.0 (StatSoft), considerando um nível de significância de 95% ($p < 0,05$). Os coeficientes de regressão de modelos polinomiais foram estimados usando a caixa de ferramentas modelos Advanced Linear/Non linear do mesmo software. O método para a estimativa de parâmetros foi o de Levenberg-Marquardt e a função objetivo de soma de erros dos mínimos quadrados.

4.3 MODELO DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Uma rede neural do tipo *feedforward* foi utilizada para prever a temperatura final de carcaças de frango, onde duas arquiteturas diferentes foram testadas. No primeiro caso, uma camada escondida foi utilizada, enquanto que no segundo caso, foram usadas duas camadas escondidas. O número de nós em cada camada foi determinado

de forma a melhorar o ajuste dos dados de processo. Para as entradas da rede neural artificial (RNA) foram utilizados os dados relativos ao peso médio da carcaça, velocidade de pré-chiller, a velocidade de chiller 1, velocidade de chiller 2, a temperatura média do pré-chiller, a temperatura média do chiller 1, a temperatura média do chiller 2, borbulho do pré-chiller e intensidade de borbulho no chiller 1.

As funções de transferência utilizadas também foram determinadas na saída e as camadas escondidas. A Tabela 3 apresenta todas as funções de transferência testadas. A camada de saída foi composta de um nó relacionado com a temperatura final das carcaças.

TABELA 3. Funções de transferência testadas

Função	Nomenclatura	Equação
<i>Hyperbolic tangent sigmoid</i>	tansig	$f(x) = \frac{2}{1 + \exp(-2x)} - 1$
<i>Log-sigmoid</i>	logsig	$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$
<i>Elliot symmetric sigmoid</i>	elliotsig	$f(x) = \frac{c \cdot x}{1 + c \cdot x }$
<i>Radial basis</i>	radbas	$f(x) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2} \ x - x_i\ ^2\right)$
<i>Normalized radial basis</i>	radbasn	$f(x) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2} \ x - x_i\ ^2\right)$
<i>Saturating linear</i>	satlin	$f(x) = \begin{cases} 0 & \leftarrow x \geq 0 \\ x & \leftarrow 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & \leftarrow x > 1 \end{cases}$
<i>Soft max</i>	softmax	$f(x) = \frac{\exp(t_j \cdot x)}{\sum_{j=1}^n \exp(t_j \cdot x)}$
<i>Elliot 2 symmetric sigmoid</i>	elliott2sig	$f(x) = \frac{c \cdot x}{1 + c \cdot x }$
<i>Positive linear</i>	poslin	$f(x) = \begin{cases} x & \leftarrow x \geq 0 \\ 0 & \leftarrow x < 0 \end{cases}$
<i>Linear</i>	purelin	$f(x) = x$
<i>Triangular basis</i>	tribas	$f(x) = \begin{cases} 1 - \text{abs}(x) & \leftarrow -1 \leq x \leq 1 \\ 0 & \leftarrow \text{otherwise} \end{cases}$

Para treinar o RNA, foram testados três métodos disponíveis no Matlab (MathWorks, versão R2012b) para otimizar os pesos e viés, que são o conjugado escalonado gradiente *backpropagation* (trainscg), *backpropagation* gradiente conjugado com atualizações *Fletcher-Reeves* (traincfg) e *backpropagation* gradiente descendente (traingd). Para o treinamento e validação, as entradas acima foram combinadas para minimizar a soma ponderada dos quadrados dos resíduos definidas pela equação abaixo.

Modelo da rede neural artificial

$$SSR = \sum_{i=1}^{n=3} (T_i - T_i^{calc})^2$$

Onde o SSR é a soma dos resíduos quadrados, T_i é a temperatura final da carcaça obtida experimentalmente e calculada pela RNA, respectivamente.

A fim de treinar e validar a RNA para prever a temperatura final de carcaças de frango, algumas estratégias de modelagem foram testadas. No primeiro ensaio foram utilizadas nove entradas (Tabela 3) uma camada oculta contendo 10 nós e uma camada de saída (resposta - temperatura final da carcaça) utilizando o algoritmo *backpropagation* gradiente conjugado escalonado para treinar a RNA. Nesta estratégia foram testados 10 funções de transferência, que estão apresentados na Tabela 3. Foram utilizando 121 testes para a formação, 25 teste para a validação e 25 para o teste para avaliar o comportamento da rede. Na segunda estratégia, foram avaliados cinco funções de transferência, selecionados na etapa anterior, e três diferentes algoritmos para calcular os pesos e o viés (conjugado escalonado gradiente *backpropagation*, conjugado gradiente *backpropagation* com atualizações *Fletcher-Reeves* e *backpropagation* gradiente descendente), mantendo a mesma arquitetura da RNA usado no primeiro e o mesmo número de dados para procedimentos de treino e

de validação. Na terceira estratégia, foi usado o mesmo procedimento da segunda, mas os dados de todos os valores dispersos foram removidos, sendo utilizados os dados DE 113 para a formação, 23 para a validação e 23 para testar esta etapa. Considerou-se um conjunto de dados discrepantes, onde todos os pontos com temperatura superior a 11,6 °C, e menor do que 6 °C, isto é, a variação positiva e negativa a partir da média total. Na quarta estratégia foi avaliada arquitetura diferente para a RNA, bem como o número de nós nas estruturas ocultas utilizando a base radial e base radial normalizada como função de transferência o algoritmo de gradiente *backpropagation* descendente para treinamento e validação da RNA.

Para todas as estratégias adotadas, o modelo foi testado em corridas quintuplicado. A seleção da melhor estratégia e arquitetura de RNA foi baseada na média do erro quadrático médio (desempenho) e do coeficiente de regressão (r).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE PROCESSO

Na Figura 3 são apresentados os dados de temperatura final de carcaça obtido durante a avaliação do processo (171 testes), observou-se que os valores variaram de 6-14°C, dependendo da condição operacional utilizada no processo. Esta variação indica que as variáveis do processo influenciam a temperatura final de carcaças. Além disso, foi possível verificar que parte dos testes apresentaram valores de temperatura superior a 7°C, que é o valor máximo permitido pela legislação brasileira conforme MAPA (1998).

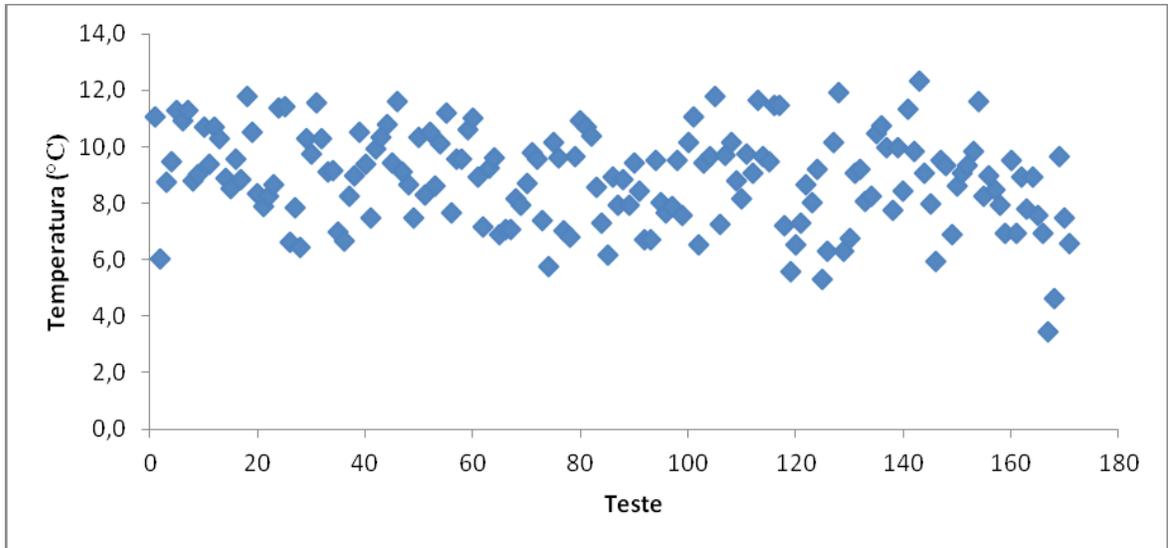


Figura 3. Valores de temperatura média final das carcaças obtidas durante a avaliação do processo de resfriamento

Cabe salientar que as medidas de temperatura acima dos 7°C necessários, a atender a legislação brasileira vigente, não remetem a problemas de desvio de processo uma vez que a indústria realiza o embasamento legal em avaliação da continuidade do processo. Portanto, toda carcaça deve atender temperaturas de até 4°C entre a pele e a parte superficial do musculo do peito, sendo que deve ser realizado o acompanhamento das partes geradas, onde as mesmas devem atingir 4°C em um período de 4 horas, segundo o estudo que deve ser realizado com uma frequência a cada 4 meses, conforme estabelecido no manual de APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) da indústria. Cabe salientar que posterior à revisão deste manual, ocorre à avaliação da temperatura de carcaça necessitando atender os 7°C comentados durante o texto, estando este em conformidade durante o período de processamento.

A Figura 4 apresenta a distribuição de dados em função da faixa de temperatura, os quais seguem a distribuição normal. Apenas 31% dos dados apresentaram valores de temperatura inferior a 7°C, indicando a necessidade de alterações no processo para atender a exigência da legislação brasileira. Considerando-se que em 25% dos dados apresentados os valores de temperatura ficaram na faixa de 9-10°C, é possível apontar que pequenas alterações nas variáveis do processo pode melhorar o desempenho do

mesmo. No entanto, o processo ainda apresenta 25% de dados em condições drásticas, uma vez que nestes dados apresentados a temperatura varia na faixa de 10-15°C. A partir da análise dos dados apresentados na Figura 4 é evidente a necessidade de desenvolver um modelo para prever a temperatura de carcaça final em função da variável do processo com o objetivo de usar esse modelo como uma ferramenta para controle do processo.

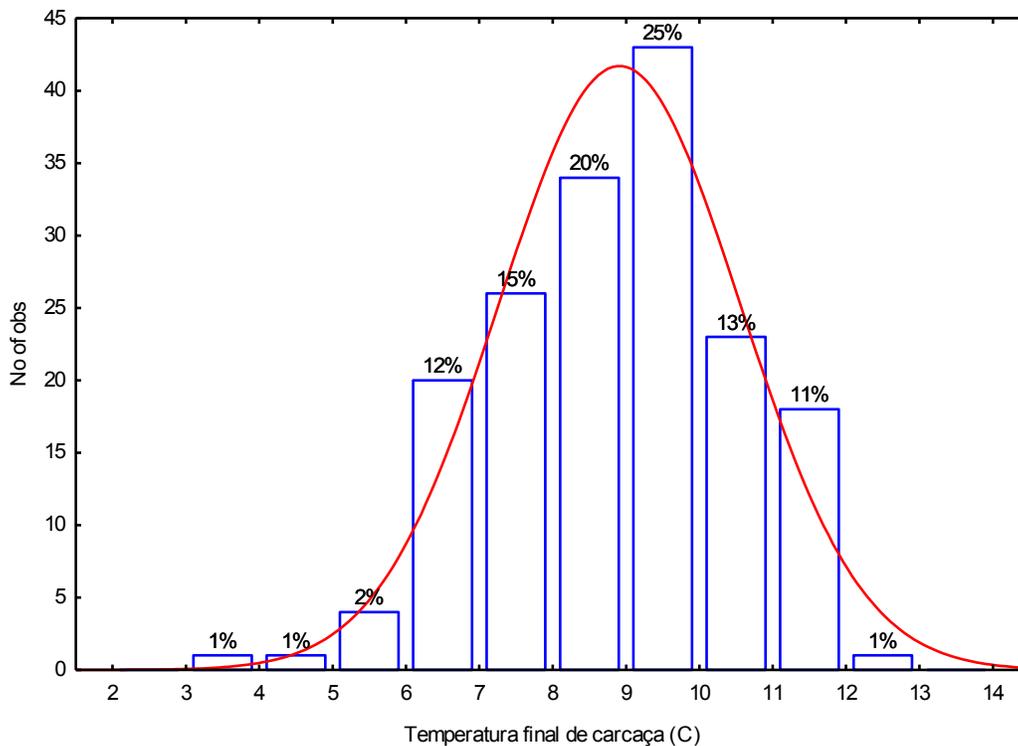


Figura 4. Distribuição dos dados obtidos nos testes em função das faixas de temperatura no processo de resfriamento

Os dados apresentados na Figura 3 foram usados para determinar a correlação linear entre variáveis de processo e a temperatura das carcaças de frango, que são apresentados na Tabela 4. O peso médio de carcaça (PMC), velocidade de *chiller* 1 (VC1) e temperatura média de *chiller* 2 (TMC2) apresentou correlação positiva, enquanto que a velocidade de pré-*chiller* (VPC), borbulho pré-*chiller* (BPC) e *chiller* 1 (BC1) apresentou correlação significativa negativa. As correlações mais significativas foram Pmc (0,35), VC1 (0,35) e BPC (-0,34), em que o aumento do peso da carcaça e

da velocidade do *chiller* 1 levou a um aumento positivo na temperatura final de carcaça, ao passo que a presença de borbulhos no pré-*chiller* apresentaram comportamento oposto, uma vez que melhora a transferência de calor e massa no processo.

TABELA 4. Correlação das variáveis lineares do processo com a temperatura da carcaça de frango.

Variáveis	Pmc	vPC	vC1	vC2	TmPC	TmC1	TmC2	bPC	bC1
Correlação	0,35	-0,21	0,35	-0,06	0,10	0,15	0,28	-0,34	-0,23

Pmc - média de peso de carcaças; VPC - velocidade do pré-*chiller*; VC1 - velocidade do *chiller* 1; VC2 - velocidade do *chiller* 2; TMPC - a temperatura média do pré-*chiller*; TMC1 - temperatura média de *chiller* 1; TMC2 - temperatura média de *chiller* 2; BPC – intensidade borbulho do pré-*chiller*; BC1 – intensidade borbulho *chiller* 1. Dados em vermelho são estatisticamente significativos ($p < 0,05$)

De forma semelhante à interação linear de primeira ordem, foi avaliada a correlação das variáveis quadráticas sobre a temperatura final da carcaça, os resultados são apresentados na Tabela 5. As maiores correlações significativas positivas foram verificadas para a velocidade quadrática de *chiller* 1 (0,38), o peso médio de carcaça (0,32) e temperatura média do *chiller* 2 (0,27), enquanto que as maiores correlações significativas negativas foram para o borbulho no pré-*chiller* (-0,33) e *chiller* 1 (-0,20).

Tabela 5. Correlação dos termos quadráticos de variáveis de processo com a temperatura de carcaças de frango.

Termo Quadrático	Correlação
Pmc x Pmc	0,32
vPC x vPC	-0,19
vC1 x vC1	0,38
vC2 x vC2	-0,07
TmPC x TmPC	0,07
TmC1 x TmC1	0,10
TmC2 x TmC2	0,27
bPC x bPC	-0,33
bC1 x bC1	-0,20

Pmc – peso médio das carcaças; vPC – velocidade do pré-*chiller*; vC1 – velocidade do *chiller* 1; vC2 – velocidade do *chiller* 2; TmPC – temperatura média do pré-*chiller*; TmC1 – temperatura media do *chiller* 1; TmC2 – temperatura media do *chiller* 2; bPC – intensidade do borbulho do pré-*chiller*; bC1 – intensidade do borbulho no *chiller* 1. Números em vermelho são estatisticamente significantes ($p < 0.05$)

5.2 ANÁLISE DE REGRESSÃO DOS DADOS DO PROCESSO

Tal como mostrado na análise de correlação de dados do processo, a temperatura final de carcaças de frango são correlacionados de forma linear em primeira ordem e interações quadráticas. Por esta razão, foi proposto um modelo polinomial de segunda ordem para prever a temperatura das carcaças de frango determinando valores para as variáveis independentes. Considerou-se no modelo

apenas os termos que apresentaram correlação com a temperatura final de carcaças. A equação proposta foi a seguinte:

$$T = b_0 + b_1 \cdot Pmc + b_3 \cdot vC1 + b_6 \cdot TmC1 + b_7 \cdot TmC2 + b_8 \cdot bPC + b_{12} \cdot Pmc \cdot vPC + b_{19} \cdot Pmc \cdot bC1 + b_{23} \cdot vPC \cdot vC1 + b_{24} \cdot vPC \cdot vC2 + b_{25} \cdot vPC \cdot vC2 + b_{29} \cdot vPC \cdot bC1 + b_{38} \cdot vC1 \cdot bPC + b_{48} \cdot vC2 \cdot bPC + b_{49} \cdot vC2 \cdot bC1 + b_{58} \cdot TmPC \cdot bPC + b_{68} \cdot TmC1 \cdot bPC + b_{69} \cdot TmC1 \cdot bC1 + b_{89} \cdot bPC \cdot bC1 + b_{11} \cdot Pmc^2 + b_{33} \cdot vC1^2 + b_{77} \cdot TmC2^2 + b_{88} \cdot bPC^2$$

Os dados da Figura 3 foram utilizados para estimar os parâmetros do modelo de acordo com o procedimento definido na seção Material e Métodos no capítulo 4. A Tabela 6 apresenta os valores dos parâmetros estimados, erro padrão e valores de p.

TABELA 6. Parâmetros estimados para o modelo proposto.

	Parâmetro	Desvio Padrão	Valor de p
b0	3,68	1,00	0,0040
b1	5,31	2,00	0,0339
b3	-1,18	3,00	0,6573
b6	6,20	3,00	0,0190
b7	3,57	2,00	0,0942
b8	-1,91	2,00	0,2568
b12	-2,00	3,00	0,5211
b19	3,63	3,00	0,2689

b23	0,73	4,00	0,8584
b24	-1,43	2,00	0,5134
b25	3,47	2,00	0,0231
b29	-0,71	3,00	0,8098
b38	13,21	25,28	0,9999
b48	-0,29	2,00	0,8672
b49	3,69	3,00	0,1799
b58	-2,65	1,00	0,0483
b68	-2,22	3,00	0,3842
b69	-4,43	6,00	0,4882
b89	-3,37	5,00	0,4907
b11	-3,56	3,00	0,1701
b33	2,07	2,00	0,1754
b77	-2,24	2,00	0,3091
b88	-2,16	7,64	0,9999

Dados em vermelho são estatisticamente significativos ($p < 0.05$)

O modelo foi validado por meio de análise de variância (ANOVA), que é apresentado na Tabela 7. O valor de F calculado foi de cerca de 300 vezes maior do que os tabelados de significância de $p < 0,05$, e os coeficientes de determinação (R^2) foi de 0,4474, indicando que o modelo proposto pode explicar ao redor de 45% da variação de todo processo de resfriamento da carcaça de frango.

TABELA 7. ANOVA para o modelo proposto.

	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Soma da media Quadrados	F
Modelo	13670,74	23	594,38	350,02
Resíduo	251,33	148	1,70	
Total	13922,06	171		

A Figura 5 apresenta a distribuição dos dados preditos em função dos valores experimentais. Pode-se perceber que os dados são dispostos em linha reta, embora ocorra alguma dispersão. O modelo proposto apresentou baixa explicação para a variação total do processo, mas, tendo em vista o grande número de variáveis que podem apresentar influência, os resultados obtidos são satisfatórios. Neste sentido, o modelo pode ser usado como uma ferramenta para a tomada de decisões rápidas na indústria ou para prever rapidamente o comportamento do processo de resfriamento da carcaça a partir de alguma condição específica.

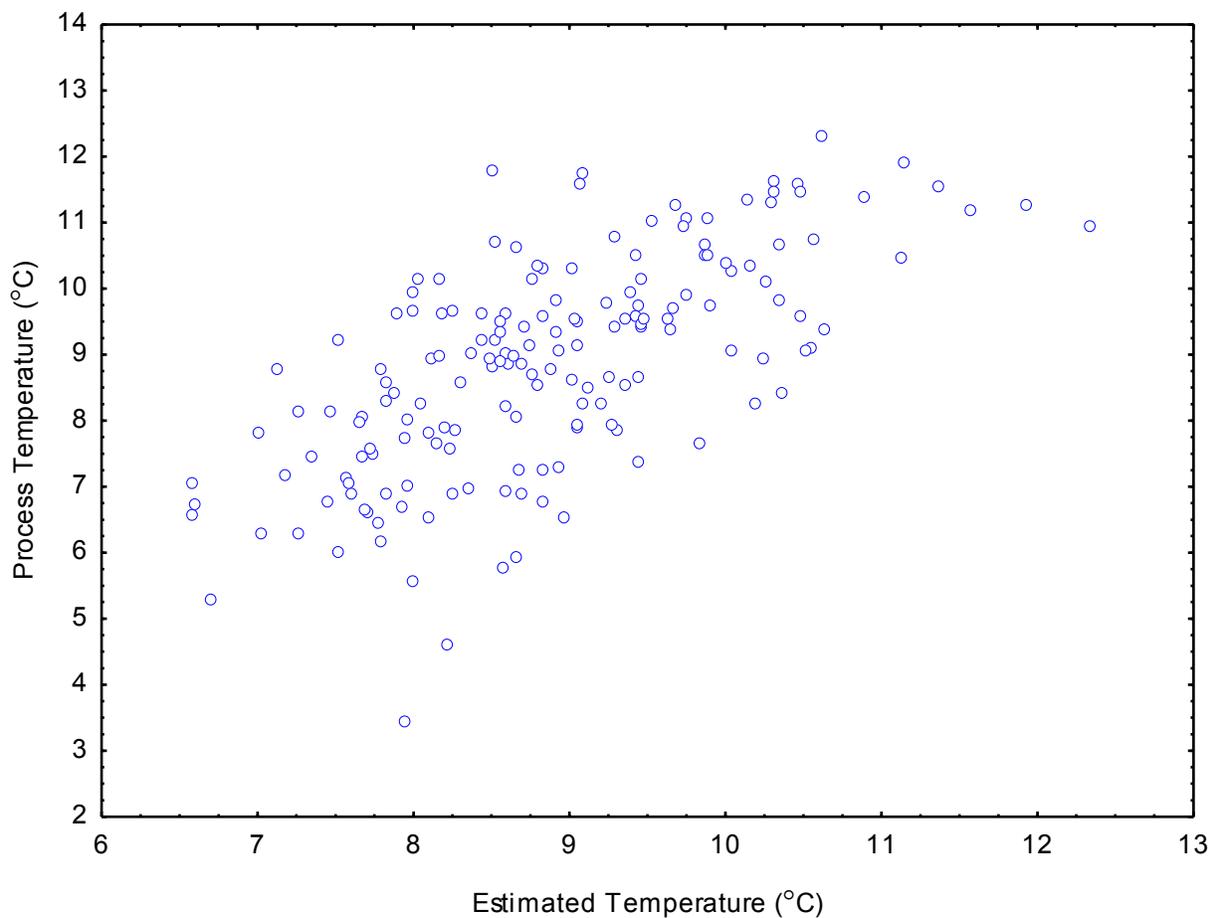


Figura 5. Dados preditos versus experimentais para temperatura final de resfriamento de carcaças.

5.3 MODELAGEM USANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS

5.3.1 PRIMEIRA ESTRATÉGIA PARA MODELAR O PROCESSO

Nesta estratégia todos os dados do processo disponíveis foram utilizados para treinar a RNA pelo algoritmo *scaled conjugate gradient backpropagation*, sendo avaliadas as diferentes funções de transferência. A Tabela 8 apresenta o erro médio quadrado e o coeficiente de regressão (R) para as dez funções de transferência testadas. O coeficiente de regressão variou de 0,1754 a 0,6531 e de 0,3204 a 0,6124 durante o treinamento e validação, respectivamente. O melhor desempenho obtido nesta etapa foi utilizando o algoritmo *hyperbolic tangent sigmoid* (tansig), *saturating linear* (Satlin), *positive linear* (poslin), *radial basis* (radbas) e *normalized radial basis* (radbasn). Estes resultados indicam que com o melhor desempenho do modelo pode explicar que cerca de 40% da variação do processo de resfriamento de carcaça. Considerando-se que todas as variáveis que afetam o processo industrial de resfriamento das carcaças de frango, este resultado é interessante, mas para a utilização deste modelo como uma ferramenta para a otimização do processo é necessário melhorar o desempenho na previsão do processo.

TABELA 8. Desempenho das diferentes funções de transferência na predição de temperatura de resfriamento final de carcaça utilizando o algoritmo *scaled conjugate gradient backpropagation* para treinar a RNA.

Função	Média do erro quadrado		Coeficiente de Regressão (R)	
	Treinamento	Validação	Treinamento	Validação
<i>Tansig</i>	1,7372±0,2897	1,8240±0,6300	0,5861±0,0612	0,5910±0,1632
<i>Logsig</i>	2,0401±0,6931	2,1900±0,1999	0,1754±0,1793	0,4937±0,0349
<i>Elliotsig</i>	1,7532±0,1475	1,9760±0,4647	0,5523±0,0510	0,5439±0,1728
<i>Radbas</i>	1,5089±0,1621	1,8804±0,5407	0,6531±0,0447	0,5947±0,1891
<i>Radbasn</i>	1,6388±0,4552	2,3491±0,8489	0,5929±0,1436	0,5082±0,2253
<i>Satlin</i>	1,7732±0,3672	1,8503±0,7156	0,5761±0,0983	0,6124±0,0877
<i>Softmax</i>	2,0654±0,4202	2,0206±0,3131	0,4610±0,1583	0,3204±0,2260
<i>Elliot2sig</i>	2,0851±0,5747	2,3326±0,6120	0,4413±0,0633	0,4320±0,0973
<i>Poslin</i>	1,7955±0,5671	2,0870±0,6980	0,5706±0,1448	0,5500±0,1353
<i>Purelin</i>	1,6101±0,1544	1,8655±0,5509	0,6222±0,0384	0,4484±0,1411
<i>Tribas</i>	2,0708±0,9889	1,5948±0,5092	0,5558±0,2085	0,5055±0,1794

5.3.2 SEGUNDA E TERCEIRA ESTRATÉGIA PARA MODELAR O PROCESSO

Na primeira estratégia foram selecionados cinco funções de transferência que apresentaram o melhor desempenho. A fim de melhorar a capacidade de predição do modelo, estas funções foram combinadas com três algoritmos de treinamento: *scaled conjugate gradient backpropagation algorithm* (*trainscg*), *conjugate gradient backpropagation with Fletcher-Reeves updates* (*traincfg*) e *gradient descent backpropagation* (*traingd*). Os resultados obtidos na segunda estratégia são apresentados na Tabela 9. Analizando a Tabela observa-se que o melhor desempenho foi obtido usando *rdbas* e *traincgf* como função de transferência e algoritmo, respectivamente, uma vez que os coeficientes de regressão para o treinamento e validação foram 0,6980 e 0,6541, respectivamente. Comparando-se o melhor resultado obtido na Tabela 8 (primeira estratégia de modelagem) com a Tabela 9 (segunda estratégia de modelagem) é possível verificar que não há melhorias significativas no desempenho da RNA, independente da função de transferência ou algoritmo utilizado.

TABELA 9. Desempenho das cinco funções de transferência combinados com três algoritmos para treinar a RNA na previsão de temperatura final de resfriamento da carcaça.

Função	Algoritmo	Média de Erro Quadrado		Coeficiente de Regressão	
		Treinamento	Validação	(R)	
				Treinamento	Validação
Tansig	trainscg	1,7372	1,8240	0,5861	0,5910
	traincgf	1,5030	1,7478	0,6494	0,6010
	traingd	1,9707	1,8330	0,5662	0,5522
Satlin	trainscg	1,7732	1,8503	0,5761	0,6124
	traincgf	1,5590	1,4713	0,6525	0,6363
	traingd	1,6715	1,9615	0,5230	0,5601
Poslin	trainscg	1,7955	2,0870	0,5706	0,5500
	traincgf	1,5476	2,9552	0,6404	0,4133
	traingd	1,3812	1,6586	0,6934	0,6108
Radbac	trainscg	1,5089	1,8804	0,6531	0,5947
	traincgf	1,3502	1,6113	0,6980	0,6541
	traingd	1,4082	1,8479	0,6778	0,6561
radbasn	trainscg	1,6388	2,3491	0,5929	0,5082
	traincgf	1,7196	1,6760	0,5877	0,6740
	traingd	1,8259	1,4978	0,5944	0,6269

A explicação para a baixa melhoria no desempenho pode ser obtido a partir de uma análise da Figura 4. Considerando-se a temperatura final de carcaça como sendo 7°C (limite estabelecido pela legislação brasileira), é possível ver uma grande dispersão dos dados em torno deste valor. Esta dispersão é que leva ao baixo desempenho da RNA. Por essa razão, na terceira estratégia, todos os dados com temperatura superior a 11,6°C e inferior a 6°C foram excluídos do treinamento e validação. Neste sentido, a terceira estratégia consistiu em testar as mesmas funções de transferência e de algoritmos de formação de um segundo, sem os *outliers*. Os resultados obtidos na terceira estratégia são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10. Desempenho das cinco funções de transferência combinado com três algoritmos para treinar o RNA na previsão de temperatura final da carcaça, excluindo os *outliers*.

Função	Algoritmo	Erro Médio Quadrado		Coeficiente de Regressão	
		Treinamento	Validação	(R)	
				Treinamento	Validação

Tansig	Trainscg	1,4221	0,9657	0,5947	0,7261
	Traincgf	1,3285	1,2469	0,6343	0,6626
	Traingd	1,2103	0,9208	0,6456	0,6453
Satlin	Trainscg	1,2414	0,9256	0,6665	0,7052
	Traincgf	1,2508	0,8415	0,6679	0,7240
	Traingd	1,1435	1,5398	0,6688	0,6471
Poslin	Trainscg	1,4161	1,1695	0,5758	0,6827
	Traincgf	1,2249	1,0489	0,6564	0,6225
	Traingd	1,1706	1,1209	0,6812	0,6421
Radbas	Trainscg	1,2504	1,0387	0,6503	0,7052
	Traincgf	1,1163	1,1734	0,7549	0,6832
	Traingd	0,7386	1,0388	0,7780	0,6940
radbasn	Trainscg	1,0513	1,1069	0,7087	0,7050
	Traincgf	1,2302	1,3447	0,6359	0,6582
	Traingd	1,2041	1,2722	0,6928	0,6247

Comparando a Tabela 9 e 10, é possível verificar que ocorreu uma melhora de desempenho da RNA na predição de temperatura final da carcaça para todos os casos testados. No entanto, o melhor resultado foi obtido usando *radbas* e *traingd* como a função de transferência e algoritmo de treinamento, respectivamente. Neste caso, os coeficientes de regressão para o treinamento e validação foram 0,7780 e 0,6940, respectivamente, indicando que a RNA desenvolvida pode explicar ao redor de 52% de toda a variação do processo.

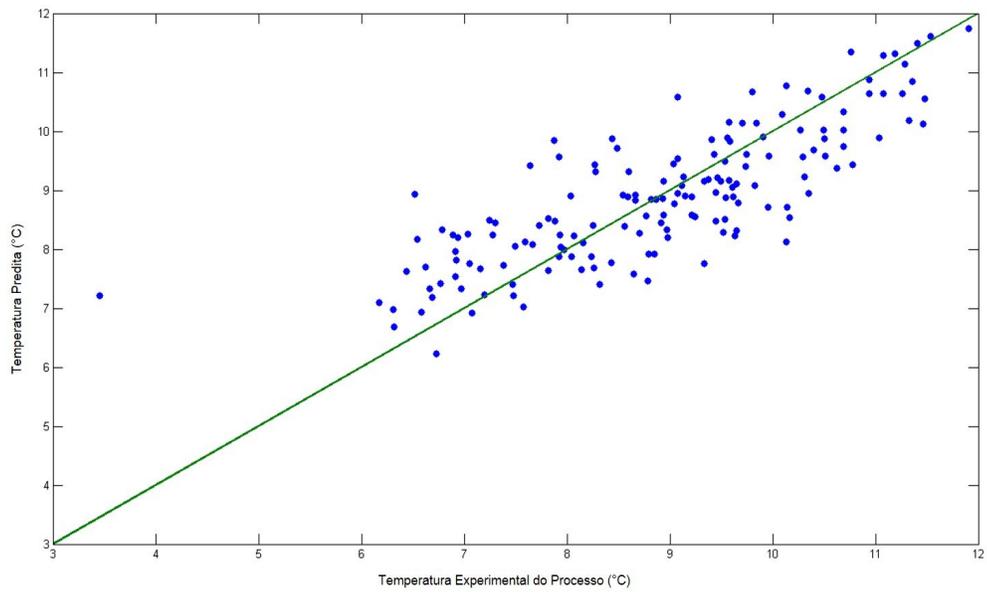
5.3.3 QUARTA ESTRATÉGIA PARA MODELAR O PROCESSO

Embora tenha sido obtida uma melhoria significativa no desempenho da RNA na terceira estratégia, foram avaliados diferentes arquitecturas para a RNA sem a remoção dos *outliers*. Os resultados obtidos na quarta estratégia são apresentados na Tabela 11. Uma melhoria acentuada da performance foi obtida utilizando duas camadas internas e *radbas* como a função de transferência nestas camadas. Neste caso, o coeficiente de regressão foi 0,9265, indicando que a RNA desenvolvida neste estudo pode explicar 86 % de toda a variação dos dados do processo.

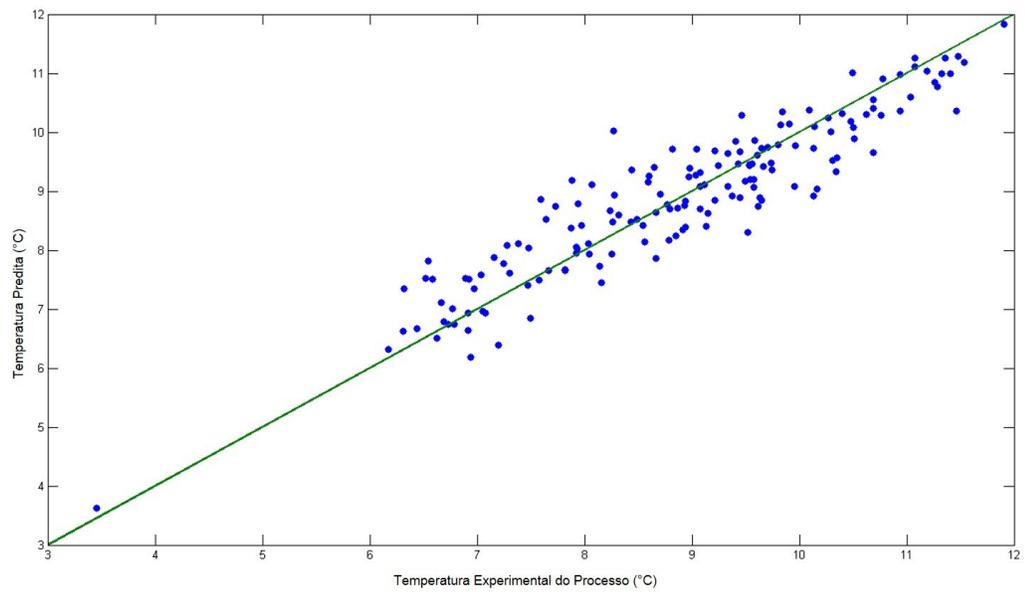
TABELA 11. Desempenho de RNA na previsão de temperatura final de carcaça para diferentes arquiteturas

Teste	Função transferência na 1° camada	Neurônios na 1° camada interna	Função Transferência na 2° camada	Neurônios na 2° camada interna	Média do erro Quadrado	Coefficiente de regressão (R)
1	Radbas	10	Não	0	0,7406	0,8056
2	Radbas	10	Radbas	10	0,2998	0,9265
3	Radbas	10	Radbasn	10	0,5197	0,8686
4	Radbas	15	Radbasn	5	0,4823	0,8784

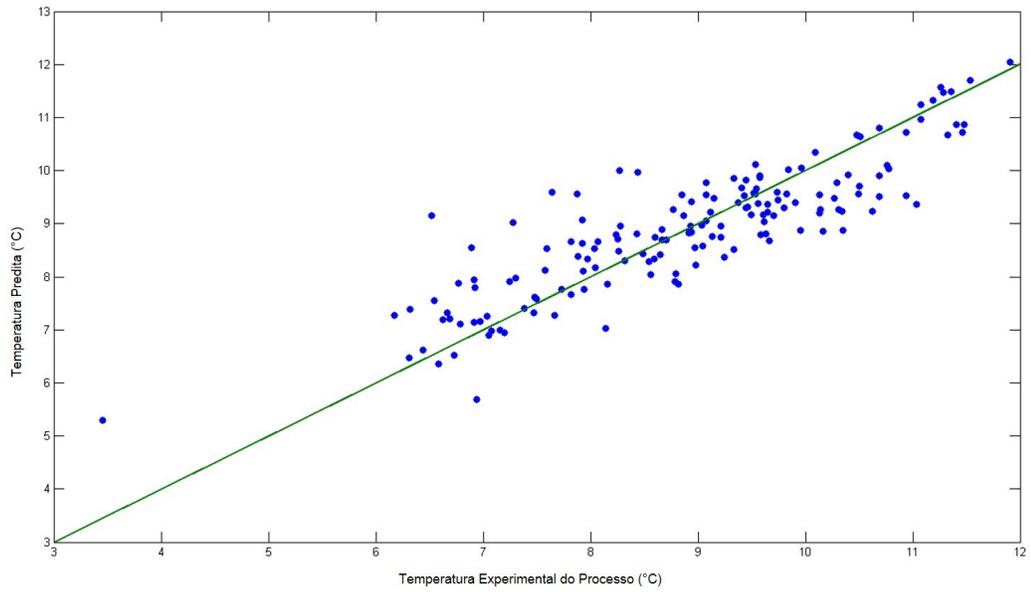
Este resultado foi satisfatório, uma vez que todos os dados foram considerados nesta estratégia, que indica que o resultado previsto pela RNA é robusto, porque não é possível eliminar estes valores extremos no funcionamento normal da indústria. Na Figura 6 são apresentados os dados previstos pelo modelo versus do processo para cada um dos testes da Tabela 11. Pode-se perceber uma boa concordância entre modelo e dados de processo para o Teste 2 (Figura 6B), indicando que a RNA desenvolvido é capaz de representar de forma satisfatória o processo industrial de resfriamento de carcaças de frangos.



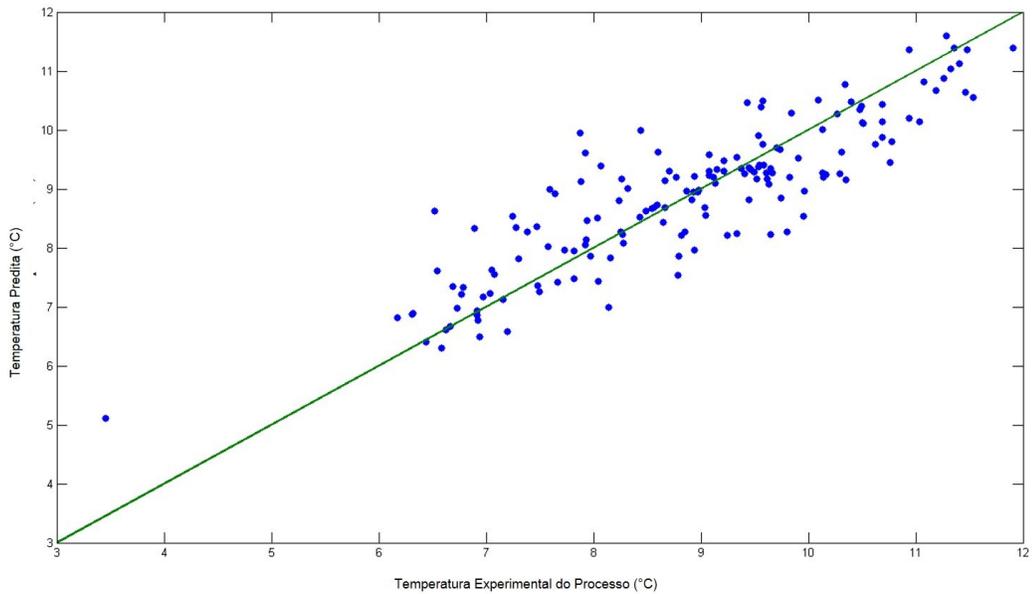
A)



B)



C)



D)

Figura 6. Dados previstos pelo modelo (linha) e dados experimentais (símbolo), para temperatura final de carcaça no processo de resfriamento obtido nos testes 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 (D)

.Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os relatados por Klassen et al. (2009), que relataram a utilização de uma arquitectura RNA 8-24-1 para prever a temperatura final de carcaças de aves, em que os erros de treino e de validação foram de 4,16 e 3,52 %, respectivamente. Em outro estudo, Martins et al. (2011) modelaram a absorção de água pelas carcaças de aves durante o resfriamento por imersão em água utilizando RNA usando dados independentes onde os dados da massa final das carcaças foram coletadas em uma planta industrial para treinar e validar o modelo. Neste estudo foram utilizadas estruturas de rede diferentes, sendo testada uma camada escondida e uma estrutura de rede neural 4-6-1 que apresentou o melhor resultado.

Com os dados e resultados obtidos, foi possível adequar as variáveis estudadas em todos os *chillers*, fazendo com que o processo produtivo fosse capaz de atender a temperatura esperada de 7°C medidos na parte intramuscular do peito das carcaças de frangos após passarem pelo processo de resfriamento.

6. CONCLUSÕES

Os dados referentes temperatura de carcaças de frango após processo de resfriamento foram correlacionados com diversas variáveis do processo. A análise de correlação mostrou-se uma importante ferramenta a ser aplicada industrialmente, porque permitiu a escolha das variáveis que afetam o processo de resfriamento de carcaças de frango.

A análise de correlação demonstrou que a interação de primeira ordem e os termos quadráticos das variáveis independente, também afeta o processo. A partir desses resultados, foi proposto um modelo quadrático capaz de explicar ao redor de 45% da variação de todo o processo de resfriamento.

Este modelo pode ser usado como uma ferramenta para a tomada de decisões rápidas na indústria ou para prever rapidamente o comportamento do processo de resfriamento dado alguma condição específica.

Foi desenvolvida uma RNA para prever a temperatura final de carcaças de frango em escala industrial. Para isso, quatro estratégias de modelagem foram testados e o melhor resultado foi obtido usando uma RNA composta de duas camadas internas (10 nós em cada camada), o *radial bias* como função de transferência e o algoritmo *gradient descent backpropagation* para o treinamento. Com esta arquitetura o coeficiente de regressão foi de 0,9265, indicando que a RNA desenvolvida neste estudo pode explicar 86% de toda a variação dos dados do processo. Mesmo com muitas variáveis que afetam o processo de arrefecimento industrial das carcaças de frangos, o RNA desenvolvida revelou resultados satisfatório da temperatura final de carcaças de frangos.

O modelo de RNA pode ser utilizado para fins de otimização, melhoria da qualidade do processo de carcaças de frango, bem como para um processo de rentabilidade.

O presente trabalho possibilitou a indústria, agregar conhecimento de ferramentas que podem auxiliar no controle de processo e sobre tudo o ganho posterior a análise do processo de conseguir modificar etapas de grande importancia fazendo que o processo torne-se capaz de atender o parâmetro de 7°C intramuscular atendendo as exigencias legais estabelecidas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. **Relatório Anual**, União Brasileira de Avicultura, Brasil. 2014. Disponível em: <http://www.ubabef.com.br/publicacoes>, acesso em 31/07/14.
- ALVES, R.M.B., and NASCIMENTO, C.A.O. **Gross errors detection of industrial data by neural network and cluster techniques**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.19, p.483-489, 2002
- BARAQUET N. J. **Abate e Evisceração**. In: FUNDAÇÃO APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS. Abate e processamento de frangos. Campinas: Fundação Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1994. Cap. 3, p. 19-24.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carne de Aves**. Portaria n. 210, de 10 de novembro de 1998.
- BUENO, F. G. L. **Diagnóstico do Uso de Energia Elétrica de um Frigorífico de Frangos de Corte Enfatizando Medidas de Eficiência Energética**. Tese de Doutorado, UNICAMP, São Paulo, 2008.
- CABEDDU, A., Rauh, C. and Delgado, A. **Hybrid artificial neural network for prediction and control of process variables in food extrusion**, Innovative Food Science and Emerging Technologies, v.21, p.142-150, 2014.
- CAMPOS, V. F. TQC. **Qualidade Total Padronização de Empresas** Fundação Cristiano Otoni, Universidade Federal de Minas Gerais, 1992, 200p.
- CARCIOFI, B. A. M. **Estudo do Resfriamento de Carcaças de Frango em Chiller de Imersão de Água**. 2005, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) O Departamento de Engenharia Química e de Engenharia de Alimentos, UFSC, Florianópolis, 2005.

- CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. **Water uptake by poultry carcasses during colling by water immersion**. Chemical Engineering and Processing, v.46, p.444-450, 2007.
- CARLETTI, F. T. P. **Divisão de Custos e Alinhamento Estratégico de uma Cadeia de Suprimentos Integrada Verticalmente: O Caso do Frango Brasileiro**. 2005. Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, USP, São Paula, 2005.
- CIMA, E. G. **Gestão da Qualidade Aplicada à Sistemas de Segurança do Alimento**. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE, TOLEDO – PR, 2006.
- DA CRUZ, A.G., WALTER, E.H., CADENA, R.S., FARIA, J.A., BOLINI, H.M., AND FRATTINI-FILETI AM. **Monitoring the authenticity of low-fat yogurts by an artificial neural network**. Journal of Dairy Science, v.92, p.4797-4804, 2009.
- FARINA, E. M. M. Q. **O desafio de manter a liderança no mercado de frangos**, 97. Estudos de caso no agribusiness. São Paulo: Pioneira, 1997. p. 97-130.
- GONTARSKI, C.A., RODRIGUES, P.R., MORI, M. and PRENEM, L.F. 2000. **Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks**. Computacional Chemical Engineering, v.24, p.1719-1723, 2000.
- HARRINGTON, J. **Aperfeiçoando Processos Empresariais**. São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda e Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1993.
- HERNANDEZ-PEREZ, J.A., Garcia-Alvarado, M.A., Trystam, G. and Heyd, B. **Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango**. Innovative Food Science and Emerging Technologies, v.5, p.57-64, 2004.
- HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da Qualidade e da Produtividade. Guia Prático para Implementação do Controle Estatístico de Processo (CEP)**. São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda, 1989.

- JAMES, C., VICENT, C., ANDRADE-LIMA, T.I, and JAMES, S.J. **The primary chilling of poultry carcasses--a review**. International Journal of Refrigeration. v.29, p.847-862, 2006.
- JURAN, J. M. JURAN **Planejamento para a Qualidade**. 3ª Edição. São Paulo, Livraria Editora Pioneira, 1995.
- KLASSEN, T.; **Uso de Redes Neurais Artificiais para a Modelagem da Temperatura e da Retenção de Água no Processo de Resfriamento de Carcaças de Frangos por Imersão**, Dissertação de Mestrado – Universidade do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2008.
- KLASSEN, T., MARTINS, T.D., CARDOZO-FILHO, L. and SILVA, E.A. **Modelagem do sistema de resfriamento por imersão de carcaças de frangos utilizando redes neurais artificiais**. Acta Science and Technology, v.31, p.201-205, 2009.
- ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total: à maneira japonesa**. Tradução de Iliana Torres, 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1993. 221p.
- MA, L., YANG, Z., LI, Y. and GRIFFIS, C. **Microbial, chemical and physical changes in chill water treated with electrochemical method**. Journal Food Process Engineering, v.23, p.57–72, 2000.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carne de Aves**. Portaria número 210, Novembro de 1998.
- MARTINELLI, O. SOUZA, J. M. **Relatório Setorial Final: Setor Carne de Aves**. FINEP, Brasília – DF, 2005.
- MARTINS, T.D., KLASSEN, T., CANEVESI, R.L.S., BARELLA, R.A., CARDOSO-FILHO, L., and SILVA, E.A. **Modeling the water uptake by chicken carcasses during cooling by immersion**. Ciência Tecnologia e Alimentação, v.31, p.571-576, 2011.

- MASTROGIACOMO, V. **Pré-resfriamento**. In: OLIVO, R. O Mundo do frango, Criciúma, 2006. Cap. 19, p. 231-237.
- MAZUTTI, M.A., CORAZZA, M.L., MAUGERI, F., RODRIGUES, M.I., CORAZZA, F.C. and TREICHEL, H. **Inulinase production in a batch bioreactor using agroindustrial residues as the substrate: experimental data and modeling**. Bioprocess Biosystem Engineering, v.32, p.85–95, 2009.
- PEREIRA, C. M. M. A., MELO, M. R., SANTOS, M. H. **O Agronegócio do Frango de Corte: um estudo de caso sob a ótica da economia de custos de transação**. Revista Informações Economicas, São Paulo, volume 37, Janeiro de 2007.
- PINTO, R. P. **Uso de Redes Neurais Artificiais no Gerenciamento de Matadouros-Frigoríficos de Aves e Suínos no Sul do Brasil**. Dissertação de Mestrado. UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- SANTOS FILHO, J. I. **Complexo Agro-Industrial de Frango de Corte**. Concórdia – SC, EMBRAPA/CNPSA, 1996.
- SAVELL, J.W., MUELLER, S.L. and BAIRD, B.E. **The chilling of carcasses**. Meat Science, v.70, p.449-459, 2005.
- SILVEIRA, L.C., BELLEDELI, B.D., SOARES, M.B.A., TREICHEL, H. and MAZUTTI, M.A. **Use of artificial neural network for industrial prediction of final temperature of chicken carcasses**. Journal of Food Process Engineering, v.37, p.1-9, 2013.
- VIEIRA, E. T. T. **Influência no Processo de Congelamento na Qualidade do Peito de Frango**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos. URI, Erechim – RS, 2007.
- WERKEMA, M. C. C. **Ferramenta estatística básica para o gerenciamento de processo**. Belo Horizonte, Cristiano Ottoni, 1995. 384 p.

TORRECILLA, S.J., Otero, L and Sanz P.D. **A neural network approach for termal/pressure food processing.** Journal of Food Engineering, v.62, p.89-95, 2004.

UBA. União Brasileira de Avicultura. Protocolo de Bem Estar Animal para Frangos e Perus. Junho, 2008. Disponível em: http://www.abef.com.br/uba/arquivos/protocolo_de_bem_estar_para_frangos_e_perus_14_07_08.pdf. Acesso: 05/01/2012