

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CÂMPUS CAMPO MOURÃO - PARANÁ - BRASIL

JORGE LEONARDO SANCHEZ

**ESTUDO DO PRÉ-RESFRIAMENTO INDUSTRIAL DE
CARÇAÇAS DE AVES USANDO MÉTODOS MULTIVARIADOS
LINEARES E NÃO-LINEARES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO – PR

2014

JORGE LEONARDO SANCHEZ

**ESTUDO DO PRÉ-RESFRIAMENTO INDUSTRIAL DE
CARÇAÇAS DE AVES USANDO MÉTODOS MULTIVARIADOS
LINEARES E NÃO-LINEARES**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Campo Mourão, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Bona

CAMPO MOURÃO – PR
2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão

Coordenação dos Cursos de Tecnologia e Engenharia de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO PRÉ-RESFRIAMENTO INDUSTRIAL DE CARCAÇAS DE AVES USANDO MÉTODOS MULTIVARIADOS LINEARES E NÃO-LINEARES

por

JORGE LEONARDO SANCHEZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 25 de FEVEREIRO de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Evandro Bona
Orientador

Profa. Dra. Karla Silva
Membro titular

Prof. Dr. Paulo Henrique Março
Membro titular

Dedicatoria

A mis queridos padres, Sergio y Ana, ejemplos de lucha y dedicación. A toda mi familia, abuelos, hermanos y a mi querida Maristela.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelos cuidados e coragem concedido.

Aos meus familiares e amigos, que tenho no Chile, Paraguay e Brasil, que estão presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos de república (Renan Marangoni e Guilherme Peixoto) e aos meus amigos e amigas da Engenharia de Alimentos e do Mestrado (PPGTA), pela amizade e força.

Ao Professor Dr. Evandro Bona pelos ensinamentos, orientação e dedicação outorgados para poder conseguir a conclusão deste trabalho.

Aos professores da coordenação de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Campo Mourão, pelos ensinamentos e apoio.

Agradeço à Dr^a Lérica F. de Vargas, Francielle P. Pivatto, Suzana F. de Camargo e Maristela Engel, pela contribuição e apoio na indústria.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

SANCHEZ, Jorge. Leonardo. **ESTUDO DO PRÉ-RESFRIAMENTO INDUSTRIAL DE CARÇAÇAS DE AVES USANDO MÉTODOS MULTIVARIADOS LINEARES E NÃO-LINEARES**, 2014. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Os dados extraídos em um processo industrial apresentam relações complexas, lineares ou não-lineares entre múltiplas variáveis. A utilização de métodos multivariados se faz necessária para um melhor aproveitamento das informações disponíveis e armazenadas corriqueiramente pelas indústrias. O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento do pré-resfriamento de carcaças de frango em sistemas de imersão em água e gelo, a partir de dados coletados em um abatedouro de aves, utilizando análise de componentes principais (ACP) e redes neurais artificiais (ANN). Por meio da ACP observou-se uma clara separação das amostras provenientes de cada linha de pré-resfriamento ao longo da primeira componente principal (CP1). Os mapas de pesos e os mapas topológicos obtidos por meio das redes neurais artificiais (mapas auto-organizáveis – SOM) possibilitaram a análise separada de cada variável do processo e sua contribuição para a segmentação das amostras. Ao comparar duas linhas de pré-resfriamento foi possível compreender melhor os principais fatores operacionais responsáveis pelo teor de água absorvida pela carcaça e sua temperatura final. O aumento na velocidade de abate, associado à alta variação na massa da carcaça, exigiu uma maior carga térmica ao sistema para a redução da temperatura da carcaça. A aplicação de métodos multivariados lineares e não-lineares foi eficiente na extração de informações para um melhor controle do processo.

Palavras-Chaves: Análise de Componentes Principais, Mapas auto-organizáveis, mapas de Kohonen, carga térmica, cinética de resfriamento, absorção de água, pré-resfriamento por imersão.

ABSTRACT

SANCHEZ, Jorge. Leonardo. **STUDY OF THE INDUSTRIAL CHILLING OF POULTRY CARCASSES USING LINEAR AND NON-LINEAR MULTIVARIATE METHODS**, 2014. 56f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

Data extracted on an industrial process show a complex, linear or non-linear relationships between multiple variables. The use of multivariate methods is necessary to extract the information stored in data routinely collected by the industries. The aim of this work was to study the behavior of the chilling poultry carcasses in water-ice immersion chilling systems, based on data collected in a poultry slaughterhouse, using principal component analysis (PCA) and artificial neural networks (ANN). The PCA revealed a clear separation of samples from each line of chilling along of the first principal component (CP1). The topological and weight maps obtained from artificial neural networks (self-organizing maps – SOM) enabled us to analyze each process variable and its contribution to the segmentation of the samples. When comparing two lines of chilling it was possible to understand the main operational factors responsible for water absorption by carcass and their final temperature. The increase in the speed of slaughter, associated with high variation in carcass weight, demanded a higher thermal cooling load to the system for reducing the temperature of the carcass. The application of linear and nonlinear multivariate methods was effective in extracting information to control and understand the chilling process.

Keywords: Principal Component Analysis, Self-organizing maps, Kohonen maps, cooling load, kinetic of chilling, water uptake, immersion chilling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do processo de abate de frango.	18
Figura 2 – Tanque “chiller” para resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo (SEMIL, 2013).	19
Figura 3 – Modelo biológico de neurônios do cérebro interconectados (HANRAHAN, 2010). ..	22
Figura 4 – Modelo de um neurônio (HAYKIN, 2001).	22
Figura 5 – Representação do Mapa auto-organizável (KOHONEN, 2013).	24
Figura 6 – Sistema contínuo de pré-resfriamento de carcaças.	27
Figura 7 – Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais das variáveis estudadas.	34
Figura 8 – Perfil de redução de temperatura da carcaça nas duas linhas de abate.	36
Figura 9 – Carga térmica requerida e disponível para o pré-resfriamento de carcaças em função da velocidade de abate da Linha 1 e 2.	39
Figura 10 – Carga térmica requerida para o pré-resfriamento de carcaças em função da massa inicial da Linha 1 e 2.	40
Figura 11 - Convergência do erro de quantização médio durante o treinamento do mapa com 10 neurônios em cada dimensão.	41
Figura 12 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade de abate. Na escala de cores as unidades são aves/hora.	42
Figura 13 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água do Pré-chiller. Na escala de cores as unidades são °C.	43
Figura 14 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água do Chiller 01. Na escala de cores as unidades são °C.	43
Figura 15 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água do Chiller 02. Na escala de cores as unidades são °C.	44
Figura 16 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água de abastecimento na fonte. Na escala de cores as unidades são °C.	44
Figura 17 - Mapas de pesos e topológico para a variável vazão de água do Chiller 02. Na escala de cores as unidades são litros/hora.	45
Figura 18 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade do Pré-Chiller. Na escala de cores as unidades são %.	45
Figura 19 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade do Chiller 01. Na escala de cores as unidades são %.	46
Figura 20 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade do Chiller 02. Na escala de cores as unidades são %.	46
Figura 21 – Movimentação e borbulhamento do Tanque “chiller” para resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo.	47

Figura 22 - Mapas de pesos e topológico para a variável tempo de resfriamento. Na escala de cores as unidades são minutos.....	48
Figura 23 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura final da carcaça. Na escala de cores as unidades são °C.....	49
Figura 24 - Mapas de pesos e topológico para a variável teor absorção de água da carcaça. Na escala de cores as unidades são %.....	50
Figura 25 - Mapas de pesos e topológico para a variável massa inicial da carcaça. Na escala de cores as unidades são gramas (g).....	50
Figura A1 – Variância explicada e acumulada (%) das Componentes principais.	55
Figura A2 – Componente 1 (CP1), Componente 2 (CP2) e Componente 3 (CP3) das variáveis estudadas.	55
Figura A3 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura inicial da carcaça. Na escala de cores as unidades são °C.....	56
Figura A4 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da sala de resfriamento. Na escala de cores as unidades são °C.	56
Figura A5 - Mapas de pesos e topológico para a variável vazão de água do <i>Pré-Chiller</i> . Na escala de cores as unidades são litros/hora.	57
Figura A6 - Mapas de pesos e topológico para a variável vazão de água do <i>Chiller</i> 01. Na escala de cores as unidades são litros/hora.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características e variáveis do processo contínuo de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo em duas linhas de abate.	31
Tabela 2 – Consumo de água e gelo no processo contínuo de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo em duas linhas de abate.	38
Tabela 3 – Propriedades da carne de frango e do sistema contínuo de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo das duas linhas de abate.....	38
Tabela A1 – ANOVA do modelo de regressão da cinética de resfriamento da Linha 01.	58
Tabela A2 – ANOVA do modelo de regressão da cinética de resfriamento da Linha 02.	58

LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

ANN = Redes Neurais Artificiais

SOM = Mapas Auto – organizáveis

ACP = Análise de Componente Principal

CP = Componente Principal

L1 = Linha 01 de pré – resfriamento

L2 = Linha 02 de pré – resfriamento

T = Temperatura da carcaça (°C)

T₀ = Temperatura inicial da carcaça (°C)

k = Constante de velocidade efetiva (minutos⁻¹)

T = Temperatura da carcaça (°C)

t = Tempo (minutos)

T = Temperatura da carcaça (°C)

Q_{sistema} = Quantidade de calor do sistema de pré – resfriamento (kcal. h⁻¹)

Q_{carne} = Quantidade de calor da carcaça de frango (kcal. h⁻¹)

Q_{água} = Quantidade de calor da água gelada (kcal. h⁻¹)

Q_{gelo} = Quantidade de calor do gelo (kcal. h⁻¹)

U = coeficiente global de transferência de calor (kcal. h⁻¹. m⁻². °C⁻¹)

A = área de troca térmica do sistema (m²)

w = quantidade de carcaça (kg. h⁻¹)

c_{p1} = capacidade calorífica da carcaça de frango (kcal. h⁻¹. kg⁻¹. K⁻¹)

c_{p2} = capacidade calorífica da água gelada (kcal. h⁻¹. kg⁻¹. K⁻¹)

m_{água} = quantidade de água gelada (kg. h⁻¹)

m_{gelo} = quantidade de gelo (kg. h⁻¹)

λ_{fusão} = calor latente de fusão da água (kcal. kg⁻¹)

ΔT = diferença entre as temperaturas (°C)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	ABATE E PROCESSAMENTO DE FRANGOS.....	16
3.2	REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (ANN).....	20
3.3	MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS (SOM).....	23
3.4	ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP).....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
4.1	COLETA DE DADOS NO ABATEDOURO DE FRANGOS.....	27
4.2	ESTATÍSTICA DESCRITIVA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	28
4.3	CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO.....	29
4.4	MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS (SOM).....	29
4.5	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	31
5.2	CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO DO SISTEMA DE PRÉ-RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS.....	35
5.3	MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS (SOM).....	40
6	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
	APÊNDICE.....	55

1 INTRODUÇÃO

O Brasil permaneceu em 2011 na 3ª posição de produtor mundial de carne de frango, com 11.496.800 toneladas, atrás dos Estados Unidos com 19.791.416 toneladas e da China com 17.443.207 toneladas (FAO, 2013). O consumo *per capita* de carne de frango no Brasil, em 2012, alcançou o valor de 45 kg/ano (UBABEF, 2013).

O controle da carga microbiana durante o processamento de frangos é um dos principais objetivos do pré-resfriamento de carcaças (THOMSON et al., 1975). De acordo com Barbut (2010), vários sistemas de resfriamento foram aperfeiçoados nestes últimos 30 anos, como o resfriamento de múltiplos estágios por imersão em tanques com água, que auxiliam na redução de microrganismos e na qualidade higiênica do produto devido à renovação constante de água limpa para cada carcaça que entra no tanque.

De acordo com Thomson et al. (1975) e Bailey (1987) o sistema de resfriamento por imersão em água e gelo surgiu na década de 70 nos Estados Unidos como um método primário que reduziria a temperatura da carcaça de forma eficiente e economicamente interessante.

Segundo JAMES *et al.* (2006) com linhas de processamento cada vez maiores e o interesse em otimizar sistemas de resfriamento de frangos, empresas estão buscando melhorar os processos de resfriamento e perder o mínimo de peso em carcaças, com um baixo consumo de energia e menores investimentos. Em muitos aspectos o sistema de pré-resfriamento por imersão atende estes objetivos e é o preferido em vários países.

O método de resfriamento por meio de ar frio (*air-chiller*) é comumente usado na Europa, enquanto o resfriamento por imersão em água (*water-chiller*) é adotado nos Estados Unidos (JAMES et al., 2006; PETRACCI, BIANCHI, e CAVANI, 2010). No Brasil, utiliza-se o resfriamento por imersão (*water-chiller*) com contato direto das carcaças com água e gelo (KLASSEN et al., 2009).

O processo de resfriamento de frangos inclui diferentes variáveis de acordo com as condições de operações de resfriamento e suas características e as propriedades referentes à carcaça de frango (SANCHEZ, ENGEL, e BONA, 2013). Nesse contexto, a utilização de métodos multivariados se faz

necessária para um melhor aproveitamento das informações disponíveis e armazenadas corriqueiramente pelas indústrias. Uma das técnicas multivariadas lineares mais empregadas é a Análise de Componentes Principais (ACP). Nessa técnica as variáveis analisadas são linearmente combinadas gerando novas variáveis que estão distribuídas ao longo da maior variabilidade contida nos dados. Essa transformação permite a redução da dimensionalidade do problema facilitando a visualização de agrupamentos e retirada de informações contidas nos dados (HAYKIN, 2001).

Por sua vez, as Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks* – ANN) são um conjunto de técnicas não-lineares que também podem ser utilizadas para a previsão de absorção de água em carcaças de frango durante o processo de resfriamento por imersão, como também para obter informações para um controle adequado e reduzir os custos de produção em plantas industriais (KLASSEN et al., 2009; MARTINS et al., 2011). As ANN são sistemas paralelos distribuídos compostos por unidades de processamento simples (neurônio artificial) que fazem uso de funções matemáticas não-lineares e são aplicadas a problemas em que existem dados experimentais ou gerados por meio de modelos (BRAGA, CARVALHO, LUDEMIR, 2011). As redes neurais artificiais (ANN) são técnicas eficientes para o reconhecimento e classificação de padrões utilizando dados disponíveis e sendo capazes de realizar o mapeamento de relações complexas e não-lineares entre múltiplas variáveis (BORSATO et al., 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o comportamento do pré-resfriamento de carcaças de frango, em sistemas de imersão em água e gelo, através da análise multivariada de dados (variáveis de processo) coletados em um abatedouro industrial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar dados *in loco* de velocidade de abate, temperatura ambiente, tempo de resfriamento nos *chillers*, temperatura da água nos *chillers*, quantidade de gelo consumido, fluxo da água de renovação nos *chillers*, massa inicial e final da carcaça, temperatura inicial e final da carcaça e velocidade dos tanques *chillers*, de duas linhas de pré-resfriamento de carcaças.
- Fazer uma análise prévia, usando estatística descritiva, dos fatores relacionados ao processo de pré-resfriamento de carcaças;
- Relacionar as principais variáveis que influenciam o pré-resfriamento de carcaças nas duas linhas de processo;
- Obter um modelo cinético para o pré-resfriamento de carcaças;
- Fazer uma estimativa da carga térmica para o processo de pré-resfriamento;
- Avaliar os dados através da análise de componentes principais;
- Analisar os dados coletados usando redes neurais artificiais do tipo mapas auto-organizáveis;
- Comparar e avaliar os resultados obtidos indicando possibilidades de melhoria para a eficiência do processo industrial;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ABATE E PROCESSAMENTO DE FRANGOS

As atividades desenvolvidas pelas empresas de processamento de frangos (abatedouros de aves) são realizadas de acordo com a portaria nº 210 que aprova o Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiênico-Sanitária de Carnes de Aves (BRASIL, 1998) e geralmente com algumas adaptações conforme a capacidade de abate da indústria. A descrição geral das etapas, conforme o fluxograma da Figura 1, é apresentada a seguir:

- a) As aves a serem abatidas são encaminhadas ao frigorífico com aproximadamente 42 dias de idade em caminhões dotados de características próprias permitindo ventilação adequada.
- b) Ao chegarem à plataforma de recepção, as aves são mantidas em descanso por aproximadamente 2 horas antes do abate. Após este tempo as mesmas são penduradas pelos pés nos ganchos da norea transportadora e submetidas à insensibilização elétrica.
- c) As aves são destinadas ao túnel de sangria, onde são sangradas por incisão na jugular.
- d) Em seguida são destinadas ao tanque de escaldagem a uma temperatura de 58 a 60°C, e então são depenadas.
- e) Após a depenagem, as aves são encaminhadas à seção de evisceração, onde as carcaças são abertas, inspecionadas e então, retiram-se os órgãos comestíveis, e desprezam-se os restos não comestíveis que são encaminhados para a seção de subprodutos. Na etapa de evisceração também são retirados o esôfago, a traqueia e o pulmão.
- f) Em seguida, as aves são lavadas (interna e externamente), após esta lavagem as carcaças são destinadas ao pré-resfriamento, que é realizado em três estágios.
- g) Após a saída do pré-resfriamento, as carcaças passam pelo período de gotejamento, para eliminar o excesso de água absorvida durante o processo de pré-resfriamento.

- h) As carcaças são encaminhadas para a sala de cortes que é mantida a 12°C. O processo de cortes é realizado em mesas de aço inoxidável manualmente ou por linhas automáticas de corte e desossa e logo após são acondicionados nas embalagens.
- i) A seguir, as embalagens são colocadas em caixas de papelão, identificadas com etiquetas, que são colocadas em suportes metálicos e encaminhadas ao túnel de congelamento. Após o congelamento as mesmas são plastificadas em túnel de encolhimento com polietileno e encaminhadas para a câmara de estocagem, onde permanecem a -18°C até a hora do embarque.

A mesma legislação que regulamenta o abate de aves, Portaria nº210, sugere alguns conceitos sobre resfriamento, pré-resfriamento e congelamento. Considera-se o resfriamento como o processo de refrigeração e manutenção da temperatura entre 0°C a 4°C dos produtos de aves (carcaças, cortes ou recortes, miúdos e/ou derivados), com tolerância de 1°C medidos na intimidade dos mesmos, e o pré-resfriamento como o processo de rebaixamento da temperatura das carcaças de aves, imediatamente após as etapas de evisceração e lavagem, realizada por sistema de imersão em água gelada e/ou água e gelo ou passagem por túnel de resfriamento, obedecidos os respectivos critérios técnicos específicos (BRASIL,1998).

Durante o processamento industrial de frangos as carcaças, depois de evisceradas, são submetidas ao pré-resfriamento por meio da imersão em tanques contendo água e gelo com o objetivo de reduzir o crescimento microbiológico e facilitar o corte e a desossa, no qual as carcaças mostram uma redução na carga microbiana que frequentemente esta associado ao fluxo contracorrente de água potável gelada, temperatura da água dos tanques e controle do pH e da concentração de cloro residual (JAMES et al., 2006; PETRACCI, BIANCHI, e CAVANI, 2010). Comercialmente ou industrialmente esses tanques com água e gelo são conhecidos como “chillers” (Figura 2), construídos em aço inoxidável possuem sistemas de movimentação e transporte de carcaças, renovação de água e borbulhamento por meio de injeção de ar comprimido no fundo do tanque.

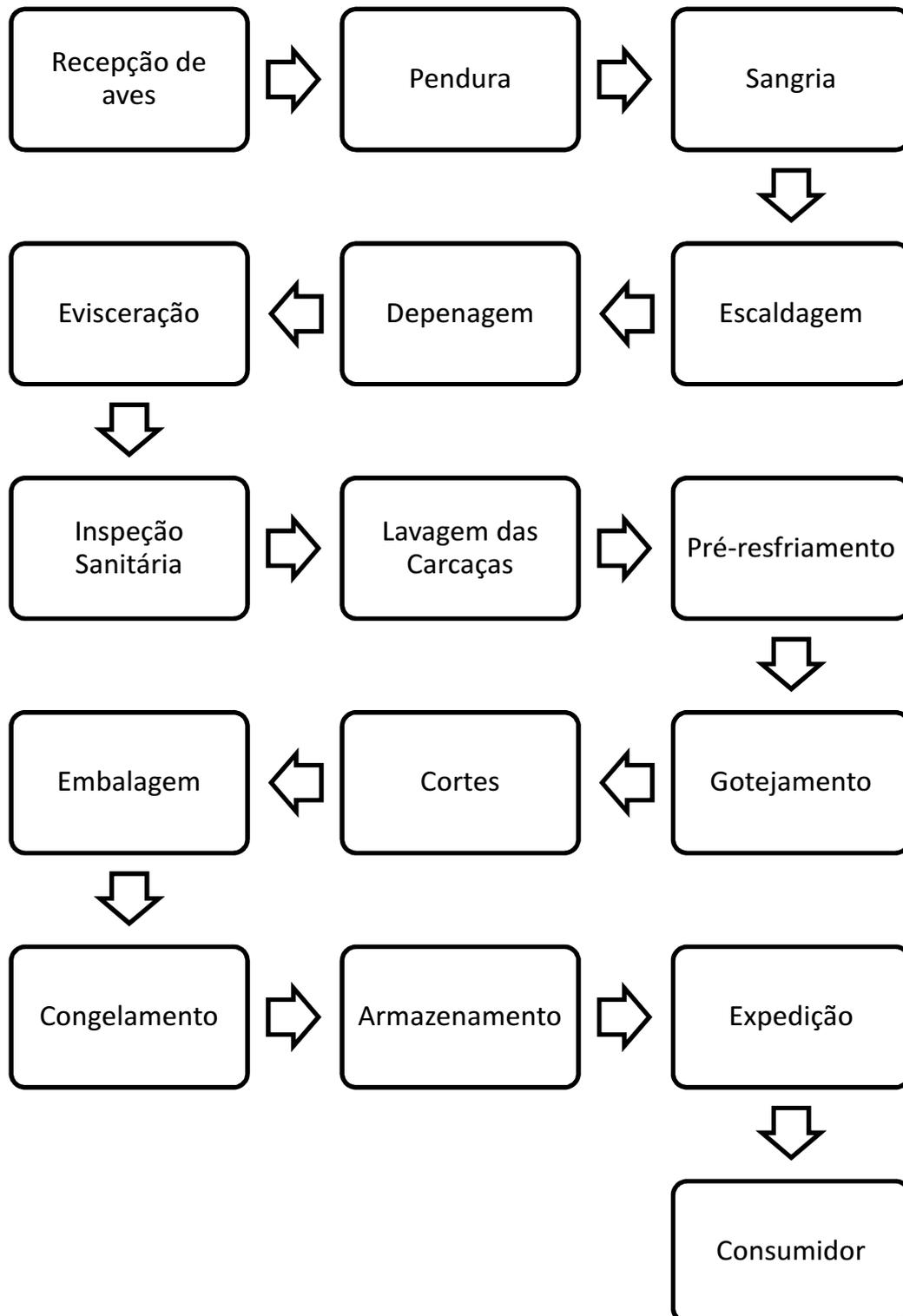


Figura 1 – Fluxograma do processo de abate de frango.

Thomson et al. (1975) demonstraram a capacidade de redução na contagem de bactérias (mesófilos, contagem total de bactérias e psicrófilos) usando um sistema comercial de resfriamento por imersão em água e registraram também um ganho de peso em carcaças resfriadas por imersão em água e gelo de 7,4% (tempo imersão de 25 minutos).

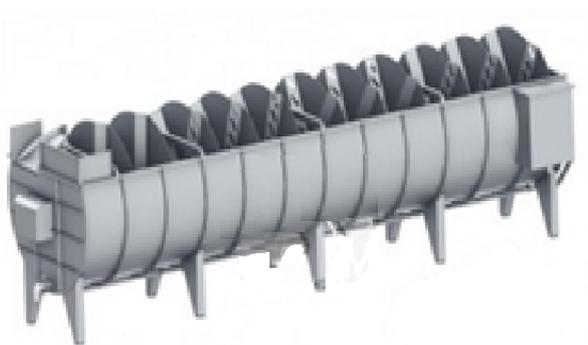


Figura 2 – Tanque “chiller” para resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo (SEMIL, 2013).

Sistemas avançados de resfriamento são usados com a tarefa de resfriar carcaças durante um período crítico, que se inicia depois do abate e durante o desenvolvimento do *rigor mortis*. Indústrias de processamento de frango dos Estados Unidos, rotineiramente utilizam resfriamento rápido por causa das exigências da USDA (*United States Department of Agriculture, Food Safety and Inspection Service*) que regula o resfriamento da carcaça abaixo de 4,4°C antes de 4 horas *post mortem* (SAVELL, MUELLER, e BAIRD, 2005).

De acordo com a Portaria nº210 (BRASIL, 1998) a temperatura das carcaças no final do pré-resfriamento deve ser igual ou inferior a 7°C na intimidade das massas musculares, tolera-se a temperatura de 10°C para as carcaças destinadas ao congelamento imediato. A quantidade de água absorvida após a etapa de pré-resfriamento não pode ser superior ao limite máximo de 8% de seus pesos.

Alguns estudos de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água utilizando tanque piloto foram realizados por Carciofi e Laurindo (2007) onde investigaram a cinética de absorção de água em carcaças de frango, e em outro estudo, Carciofi e Laurindo (2010) avaliaram resultados experimentais na modelagem do resfriamento de carcaças.

No dimensionamento destes tanques de pré-resfriamento considera-se que o resfriamento ocorre sem a mudança de fase do alimento, havendo remoção do calor sensível do alimento até o ponto de congelamento (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). A remoção do calor sensível da carcaça de frango, no sistema *water-chiller*, ocorrerá por meio do fluxo de água gelada (calor sensível da água) e a quantidade de gelo (calor latente de fusão) adicionado ao sistema, e a carga térmica necessária para o resfriamento de carcaças deverá atender as variações ocorridas durante o processo (velocidade de abate e peso das carcaças). De acordo com Dossat (1961), a carga térmica de resfriamento, necessária para reduzir a temperatura de um produto, em um equipamento de refrigeração é obtida pela soma do calor que usualmente se desprende das varias fontes diferentes (calor cedido pelo produto, pelo ambiente, motores, condução através de paredes, e ar que entra ou sai da câmara ou do setor).

Sistemas de resfriamento por imersão em banho de gelo, do tipo fluxo contínuo, podem reduzir a temperatura interna das aves de 32°C para 4°C em aproximadamente 30 minutos, a uma taxa de 10.000 aves/hora. A necessidade de gelo depende das temperaturas de entrada e saída das carcaças e da água de renovação, recomenda-se 0,25kg de gelo por kg de carcaça (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

3.2 REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS (ANN)

A utilização das redes neurais artificiais (ANN) pode proporcionar modelos empíricos satisfatórios de processos não-lineares complexos, encontrando assim, um grande número de aplicações para uma diversidade de objetivos. Alguns dos exemplos de aplicações citados na literatura são: ajuste experimental de dados, diagnóstico de máquinas, reconhecimento de padrões, controle de qualidade, processamento de sinais, modelagem de processos e controle de processos (HIMMELBLAU, 2008)

Klassen et al. (2009) obtiveram um modelo simples utilizando Redes Neurais Artificiais para predizer a temperatura das carcaças de frango na saída dos *chillers* de resfriamento. Martins et al. (2011), realizaram a modelagem da absorção de água que ocorre no processo de resfriamento de carcaças de

frango por imersão utilizando também Redes Neurais Artificiais. As variáveis consideradas por estes autores foram: temperatura de escaldagem; velocidade de abate; temperatura ambiente; tempo de residência em cada *chiller*; temperatura da água na entrada e na saída de cada *chiller*; intensidade do borbulhamento com ar; quantidade de gelo adicionado em cada *chiller*; fluxo da água de renovação nos *chillers*; massa inicial da carcaça e temperatura inicial da carcaça.

Redes neurais são constituídas por unidades de processamento simples, que armazenam conhecimento empírico. Assemelham-se ao cérebro porque o conhecimento é adquirido pela rede a partir do ambiente por um processo de aprendizado (HAYKIN, 2001). As ANN são modelos matemáticos cuja arquitetura foi inspirada pelas redes neurais biológicas (DEHGHANI et al., 2012). Essas unidades podem ser dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por diversas conexões, normalmente unidirecionais. Essas conexões são geralmente relacionadas a pesos, que armazenam o conhecimento representado no modelo, regulando a entrada recebida por cada neurônio (BRAGA; CARVALHO; LUDERMIR, 2000).

O entendimento próprio da fisiologia sináptica e neural e o conhecimento da complexa interconexão entre neurônios no cérebro são o centro para a compreensão de como o computador pode mimetizar de maneira rudimentar o comportamento de uma rede neural biológica. A estrutura do neurônio (Figura 3) esta composta por quatro regiões principais: o corpo celular (soma), dendritos, axônio e braços sinápticos. Cada neurônio parece operar como um simples processo ou com uma estrutura de conexão entre neurônios ocorrendo de forma dinâmica na natureza e esta conectividade adaptativa proporciona ao cérebro humano a habilidade para aprender (HANRAHAN, 2010).

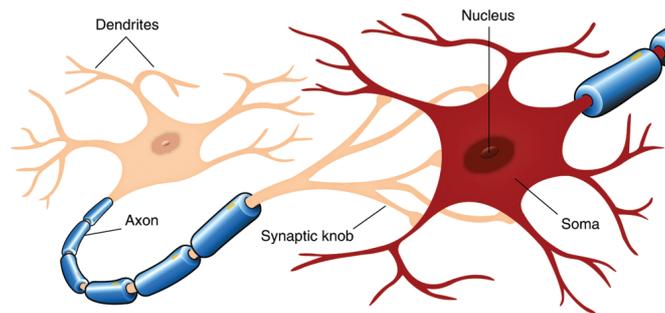


Figura 3 – Modelo biológico de neurônios do cérebro interconectados (HANRAHAN, 2010).

Para as ANN os neurônios são unidades de processamento de informação essenciais para a sua operação. Existem três elementos básicos do modelo neural: as sinapses, um somador e uma função de ativação, conforme a Figura 4 (HAYKIN, 2001).

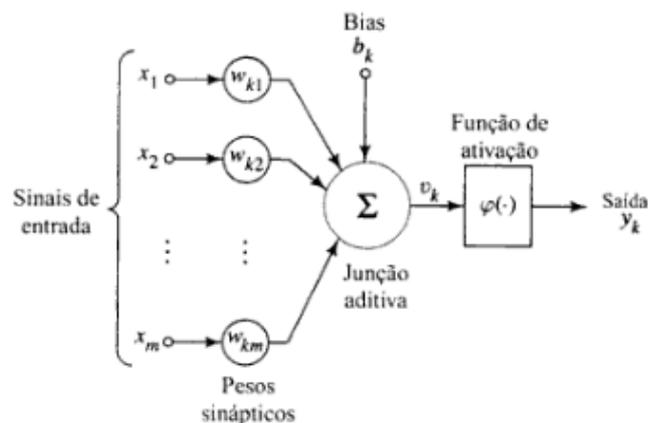


Figura 4 – Modelo de um neurônio (HAYKIN, 2001).

Cada sinapse é caracterizada por um peso ou força própria. Um sinal x_m na entrada da sinapse j conectada ao neurônio k é multiplicado pelo peso sináptico w_{km} . Sendo que ao ser representado um peso sináptico, o primeiro índice indica o neurônio em questão e o segundo, o terminal de entrada da sinapse em que se refere o peso. Os sinais de entrada são somados por um somador, sendo ponderados pelas respectivas sinapses do neurônio. Uma função de ativação restringe a amplitude da saída de um neurônio, limitando o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída a um valor finito. O intervalo normalizado da amplitude de saída de um neurônio é, geralmente, escrito como intervalo unitário fechado $[0, 1]$ ou alternado $[-1, 1]$ (HAYKIN, 2001).

3.3 MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS (SOM)

O mapa auto-organizável (*Self-Organizing Map* – SOM) ou mapa de Kohonen é um tipo de rede neural fundamentado na aprendizagem não-supervisionada (KOHONEN, 1982). Durante o processo de aprendizagem (treinamento), as unidades de processamento presentes na rede ajustam seus pesos principalmente fundamentados em conexões laterais *feedback* (KIANG, KULKARNI e TAM, 1995). O SOM efetua uma redução organizada da dimensionalidade mapeando os dados de treinamento. O mapa segue uma função de densidade de probabilidade e é robusto aos dados faltantes. A visualização de dados multidimensionais complexos é, de fato, uma das principais aplicações do SOM (VESANTO, 1999). A simplicidade matemática, a quantidade e qualidade dos resultados na forma de gráficos e a representação de relações não-lineares por meio de mapas são algumas das vantagens do SOM (BONA et al., 2012).

O SOM é um método automático de análise de dados, largamente usado em problemas de agrupamento (*clustering*) e exploração de dados de indústrias, finanças, ciências naturais e linguísticas (KOHONEN, 2013). Algumas aplicações mostram que o SOM pode ser usado de forma eficiente na análise de dados em indústrias, por exemplo, no tratamento de efluentes (HEIKKINEN et al., 2011), processamento de recursos hídricos (KALTEH, HJORTH e BERNDTSSON, 2008) e na análise de alimentos (BONA et al., 2012; LINK et al., 2014).

Os modelos de mapas auto-organizáveis estão associados com os nós de uma grade regular, geralmente bidimensional, conforme a Figura 5, onde um elemento de dados de entrada X é transmitido a um conjunto de modelos M_i , dos quais M_c coincide melhor com X , e todos os modelos na vizinhança de M_c (circulo maior) coincidem melhor com X do que o resto (KOHONEN, 2013).

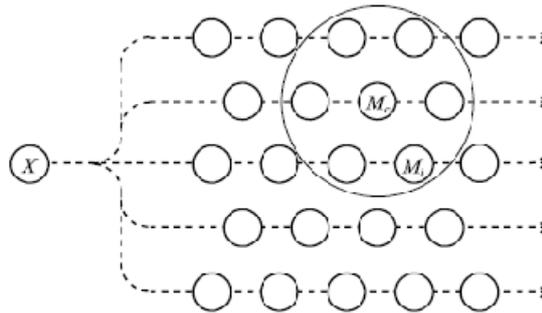


Figura 5 – Representação do Mapa auto-organizável (KOHONEN, 2013).

O algoritmo SOM constrói os modelos de tal forma que: os modelos mais semelhantes são associados com os nós mais próximos da grade, enquanto os menos semelhantes são situados distantes da grade. Cada dado de entrada deve selecionar o modelo que melhor coincida com o item de entrada, e este modelo assim como o subconjunto de seus vizinhos espaciais na grade, deve ser modificado para uma melhor representação. A modificação se concentra no nó selecionado que contém o modelo ganhador, toda a vizinhança espacial na grade ao redor do nó ganhador se modifica ao mesmo tempo. O grau de ordenação local nesta vizinhança aumenta devido à ação de suavização e a ação de ordenação propaga-se pela grade (KOHONEN, 2013; MELSSSEN, WEHRENS, e BUYDENS, 2006).

Como o SOM comprime a informação, enquanto preserva as mais importantes relações topológicas e métricas dos primeiros elementos de dados sobre a visualização, também pode produzir algum tipo de idealização. Estes dois aspectos, a visualização e a idealização do mapa, podem ser utilizados de varias maneiras em tarefas complexas, como na análise de processos, máquina de percepção, controle e comunicação (KOHONEN, 1998).

3.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica normalmente utilizada para a redução de dados em reconhecimento estatístico de padrões e processamento de sinais, e para a seleção ou extração de características. A seleção de características se refere a um processo no qual um espaço de dados é transformado em um espaço de características que tem a mesma

dimensão que o espaço original de dados. O conjunto de dados sofre uma redução de dimensionalidade, onde um número reduzido de características retém a maioria do conteúdo da variância original dos dados (HAYKIN, 2001).

As variáveis aleatórias num conjunto de dados originais normalmente se correlacionam uma com a outra, em maior ou menor extensão. A ACP elimina esta redundância por meio da transformação dos dados originais em um conjunto de novas variáveis aleatórias não correlacionadas, denominado de escores (*scores*) da componente principal (CP). Em seguida, uma reorganização ocorre de tal forma que apenas as primeiras escores da CP são necessárias para descrever a informação contida nas diversas variáveis aleatórias originais (LAI, KEMSLEY, e WILSON, 1994).

A ACP permite que uma estrutura de dados de alta dimensão possa ser projetada sobre uma menor dimensão de sistemas de coordenadas, os dados podem ser visualizados e analisados por meio de escores (*score-plots*) dos objetos e associado aos vetores de peso (*loading vectors*) proporcionando informações referentes à correlação que existe entre as variáveis de entrada (MELSSSEN, WEHRENS e BUYDENS 2006).

Uma vantagem adicional na redução de variáveis aleatórias é a simplificação resultante do conjunto de dados, que permite uma melhor visualização das relações dentro dos dados. As relações mais importantes entre as observações podem ser revelados em gráficos das escores da CP uma contra a outra (LAI, KEMSLEY, e WILSON, 1994).

A ACP apresenta algumas particularidades: a alta dimensão da estrutura (topologia) dos dados de entrada é reduzida de maneira linear; funciona bem se os objetos do conjunto não contiverem dados discrepantes (*outliers*) e separa (agrupa) se existir algo diferente no conjunto de dados; e o poder de visualização desta técnica deteriora-se se o número de dimensões relevantes no espaço multivariado restantes após a ACP for alto (MELSSSEN, WEHRENS e BUYDENS 2006).

O uso combinado da técnica de ACP e do SOM pode ser considerado como uma poderosa ferramenta para destacar padrões de correlações entre as variáveis de um conjunto de dados como também a similaridade entre as observações (AGUADO et al., 2008; ASTEL et al., 2007).

A utilização em conjunto da ACP e da ANN pode ser aplicada na análise de dados como uma técnica de pré-processamento de dados em duas dimensões, para identificar e analisar a relação entre as variáveis do processo (AGUADO et al., 2008). O uso combinado destas técnicas demonstrou ser efetiva na redução dimensional dos dados e na extração de informações relevantes (BONA et al., 2012; LINK et al., 2014; MARTINS et al., 2011; O'FARRELL et al., 2005).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA DE DADOS NO ABATEDOURO DE FRANGOS

A obtenção dos dados e parâmetros de processo foi realizada no complexo industrial de um abatedouro de aves, localizado no oeste do Paraná na região Sul do Brasil, com capacidade de abate de 300.000 aves/dia divididos em duas linhas de abate e dois turnos de trabalho. Durante o estudo, foram utilizadas as instalações e os equipamentos industriais com as configurações rotineiras da indústria, ou seja, sem causar influências no modo em que operadores e produção executavam suas tarefas.

O estudo foi realizado no setor de evisceração e pré-resfriamento de carcaças das duas linhas de abate, linha 01 e linha 02. O sistema usado pela indústria para pré-resfriamento de carcaças é o sistema por imersão em água e gelo compostos por 03 tanques “chillers” (Figura 6) construídos em aço inoxidável, denominados de pré-chiller, chiller 01 e chiller 02, respectivamente. Cada linha possui um sistema independente de pré-resfriamento contínuo (sincronizado com o processo), com fluxo constante de gelo e água potável gelada, borbulhamento com ar comprimido filtrado e movimentação das carcaças nos tanque por meio de roscas helicoidais.

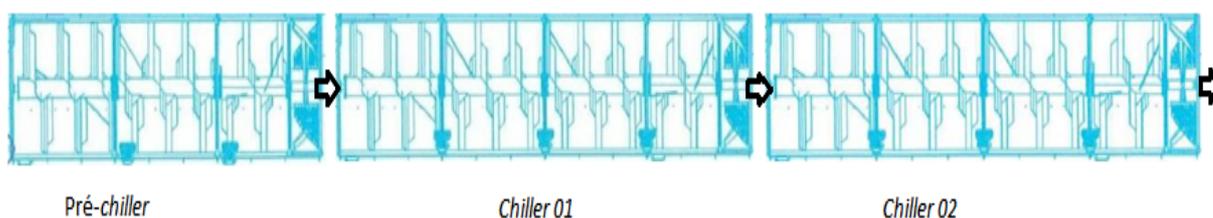


Figura 6 – Sistema contínuo de pré-resfriamento de carcaças.

Foram utilizadas 190 carcaças de frango ao todo (112 carcaças na linha 01 e 78 carcaças na linha 02), para obter os dados necessários de comportamento do processo e parâmetros que influenciam o pré-resfriamento das carcaças durante um período de 10 dias, nas duas linhas de abate. Inicialmente foram registradas as condições de processo para cada linha:

velocidade de abate, temperatura ambiente do setor de pré-resfriamento, temperatura da água nos 03 tanques *chillers*, vazão da água de renovação nos *chillers*, e velocidade dos 03 tanques *chillers*. A massa e a temperatura inicial das carcaças foram obtidas antes da lavagem final da carcaça (interna e externamente), no setor de evisceração, onde cada carcaça foi identificada por meio de lacres codificados (coloridos e numerados) preso em uma das coxas, sendo acompanhadas durante toda a etapa de pré-resfriamento. As 20 variáveis obtidas para cada carcaça podem ser rastreadas segundo o número do lacre utilizado.

As leituras de massa das carcaças foram obtidas por meio de uma balança digital marca Toledo[®] (modelo 2096 – H/1, Toledo do Brasil) e a temperatura das carcaças aferidas antes, durante e após o pré-resfriamento foram obtidas por meio de um termômetro digital marca AKSO[®] (modelo AK050, AKSO Produtos Eletrônicos), aferidas no centro do peito da carcaça devido à espessura (parte da carcaça com maior espessura de carne) e conforme descrito na Portaria nº210 (BRASIL, 1998). Finalmente foram registrados o tempo de resfriamento (ou retenção) da carcaça nos *chillers*, massa final, temperatura final e o teor de água absorvida de cada carcaça, e a quantidade de gelo e água consumidos durante o pré-resfriamento. Após o estudo foi removido o lacre identificador das carcaças, para continuarem seu processamento.

4.2 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Com os dados obtidos foi feita inicialmente uma análise prévia dos fatores industriais de controle usando estatística descritiva (*i.e.* média, desvio padrão, análise de variância (ANOVA), teste de comparação de médias e variância, correlações).

Para estudo exploratório dos dados e redução da dimensionalidade do conjunto de variáveis (HAYKIN, 2001), foi utilizada a Análise de Componentes Principais (ACP) da matriz de correlação dos dados, uma metodologia multivariada usada para análise de agrupamentos (*cluster*), conforme proposto

por Hotelling (1933), Wold, Esbensen e Geladi (1987) e Bona et al. (2012). Durante a redução do espaço dimensional uma rotação ou transformação dos eixos originais é realizada, e este novo sistema de eixos (mais comumente denominados componentes principais) apresenta a direção da máxima variância dos dados.

4.3 CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO

Foi calculada a **carga térmica requerida**, como sendo a carga térmica necessária para o pré-resfriamento de carcaças a uma determinada temperatura e tempo, de acordo com a velocidade de abate e massa inicial. Também foi calculada a **carga térmica disponível**, como sendo a carga térmica disponível pelo sistema de pré-resfriamento de carcaças (tanques *chillers*, água gelada e gelo).

Para o cálculo da carga térmica requerida e carga térmica disponível para o pré-resfriamento de carcaças foi utilizado a metodologia proposta por Dossat (1961), e as propriedades físicas, tanto da carne de frango como do sistema de pré-resfriamento, foram obtidas da literatura (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). A carga térmica estudada foi referente aos dados obtidos de cada linha de pré-resfriamento e as condições operacionais utilizadas pela indústria (fluxo de carcaças, vazão de gelo e água, temperatura da água no interior dos tanques, temperatura ambiente do setor, e características dos tanques de pré-resfriamento), sendo considerado apenas como uma estimativa, própria da indústria.

4.4 MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS (SOM)

Foi aplicada, aos dados obtidos, uma rede neural artificial (ANN) de aprendizagem não supervisionada (mapas auto-organizáveis) para uma análise de possíveis relações entre os dados (HAYKIN, 2001). Antes de entrar na ANN, os dados foram autoescalados (normalizados) para retirar os efeitos das escalas das variáveis. O SOM é um método largamente usado em problemas

de agrupamento (*clustering*) e exploração de dados (KOHONEN, 2013). Foi utilizado o algoritmo SOM bidimensional proposto por Link et al. (2014) e Bona et al. (2012). Foram testados mapas bidimensionais que apresentavam 10 neurônios em cada dimensão. O mapa foi treinado ao longo de 5000 épocas para garantir uma convergência do erro de quantização médio.

4.5 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Todas as análises matemáticas e/ou estatísticas, análise de componentes principais e aplicação das redes neurais artificiais foram realizadas nos softwares MATLAB R2008b (The MathWorks Inc., Natick, USA) e Statistica 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Na Tabela 1, podem ser visualizadas as características do processo de pré-resfriamento de carcaças nas duas linhas de abate da indústria e as principais variáveis de processo (20 variáveis) que foram avaliadas para a aplicação na análise exploratória dos dados.

Tabela 1 – Características e variáveis do processo contínuo de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo em duas linhas de abate.

	Linha 01 ^a	Linha 02 ^a	t (190)	F _{calculado}
Velocidade de abate (aves/hora)	7.785,8 ± 1.066,9	9.486,1 ± 390,2	-13,5*	7,5**
Tempo de retenção (minutos)	71,8 ± 12,5	71,0 ± 6,4	0,5	3,8**
Temperatura inicial da carcaça (°C)	41,4 ± 0,8	41,2 ± 0,5	1,8	2,4**
Temperatura final da carcaça (°C)	5,3 ± 1,6	5,4 ± 1,1	-0,8	2,2**
Massa inicial da carcaça (g)	1.984,2 ± 248,9	2.050,4 ± 224,8	-1,9	1,2
Massa final da carcaça (g)	2.106,8 ± 252,8	2.139,5 ± 232,3	-0,9	1,2
Massa de água absorvida (g)	122,6 ± 38,1	89,1 ± 27,3	6,7*	1,9**
Teor de água absorvida (%)	6,3 ± 2,0	4,4 ± 1,3	7,3*	2,3**
Temperatura Setor de pré-resfriamento (°C)	8,7 ± 0,8	8,9 ± 0,8	-2,1*	1,0
Temperatura da água do Pré-Chiller (°C)	1,6 ± 1,9	6,8 ± 2,6	-15,9*	1,9**
Temperatura da água do Chiller 01 (°C)	0,2 ± 0,7	0,8 ± 1,0	-5,3*	1,9**
Temperatura da água do Chiller 02 (°C)	1,1 ± 0,7	0,1 ± 0,3	13,7*	7,2**
Água de abastecimento na fonte (°C)	0,3 ± 1,5	-1,3 ± 1,7	7,1*	1,3
Água abastecimento na saída (°C)	2,3 ± 1,4	3,2 ± 0,7	-5,1*	4,1**
Vazão de água do Pré-Chiller (litros/h)	11.025,7 ± 1.788,1	11.253,2 ± 5.866,5	-0,4	10,8**
Vazão de água do Chiller 01 (litros/h)	6.618,6 ± 1.370,3	7.335,4 ± 7.739,6	-1,0	31,9**
Vazão de água do Chiller 02 (litros/h)	4.430,1 ± 1.427,5	9.106,3 ± 4.593,7	-10,2*	10,4**
Velocidade do Pré-Chiller (%)	88,4 ± 14,8	76,1 ± 14,2	5,8*	1,1
Velocidade do Chiller 01 (%)	71,7 ± 13,3	54,3 ± 17,4	7,9*	1,7**
Velocidade do Chiller 02 (%)	71,8 ± 12,2	57,1 ± 16,7	7,0*	1,9**

^a Resultados apresentados como média e desvio padrão dos dados coletados.

* As médias das linhas de produção apresentam diferença significativa (p<0,05).

** As variâncias entre as linhas de produção apresentam diferença significativa (p<0,05).

A temperatura das carcaças no final do pré-resfriamento deve ser igual ou inferior a 7°C na intimidade das massas musculares, tolera-se a temperatura de 10°C para as carcaças destinadas ao congelamento imediato, e o teor de água absorvida não deve ultrapassar o limite máximo de 8% de sua massa inicial. (BRASIL, 1998). As temperaturas finais médias das carcaças obtidas foram de 5,3 e 5,4°C, e o teor de água absorvida foram de 6,3 e 4,4% para a linha 01 e linha 02, respectivamente. Assim, os resultados obtidos estão dentro do recomendado pela legislação. De acordo com a Tabela 1, não houve diferença entre as linhas para a temperatura final, porém, existe diferença ($p < 0,05$) para as variâncias, ou seja, a variabilidade das temperaturas finais para linha 01 é maior do que para a linha 02. Já para a porcentagem de água absorvida, tanto a média como a variância são estatisticamente maiores para a linha 01 quando comparado com a linha 02. Para a temperatura final da carcaça o coeficiente de variação foi 30,65% para a linha 01 e 19,98% para a linha 02, já para as porcentagens de água absorvida foram observados 32,41% e 30,62%. Esses dados indicam que é difícil manter um padrão de temperatura de saída e absorção de água da carcaça durante o pré-resfriamento, mesmo que a massa inicial das carcaças seja constante e com mínima variação.

Thomson et al. em 1975, realizaram um estudo sobre o efeito do pré-resfriamento na alteração do peso da carcaça e registraram um ganho de peso em carcaças resfriadas por imersão em água e gelo de 7,4% em um tempo imersão de 25 minutos, condizente com os valores obtidos neste estudo e indicando que após quase 40 anos o problema da absorção de água em carcaças de frango continua sendo crítico no processo de pré-resfriamento. Young e Smith (2004) obtiveram uma média de 11,7% de retenção de água em carcaças de frango após o resfriamento, restando em média 3,9% após corte e armazenamento, e segundo estes autores a retenção de água em carcaças de frango é muito variável e de difícil predição, especialmente se a carcaça após o pré-resfriamento sofre cortes e separação das partes. Huevo e Smith (2007) obtiveram uma faixa de absorção de água em carcaças de frango, após pré-resfriamento por imersão em água, de 3,4 a 14,7%.

As linhas, mesmo com diferentes velocidades de abate, conseguem reduzir a temperatura inicial da carcaça com faixa de 41,2 - 41,4 °C até a temperatura de 5,3 - 5,4°C em 71 - 71,8 minutos. Do ponto de vista

operacional, as duas linhas trabalham com configurações significativamente diferentes para atingir uma temperatura final adequada na carcaça ($\leq 7^{\circ}\text{C}$) num tempo que respeite tanto as etapas anteriores como posteriores ao pré-resfriamento (Figura 1).

A correlação existente entre as variáveis do processo de pré-resfriamento foi avaliada usando a análise de componentes principais (ACP). O *biplot* para as componentes 1 e 2 está apresentado na (Figura 7). Na Figura 7 observa-se uma clara separação das amostras provenientes de cada linha de pré-resfriamento ao longo da primeira componente principal (CP1) que contém 21,34% da variância dos dados. No Apêndice a Figura A2 mostra o gráfico tridimensional dos escores. Martins et al. (2011) ao estudarem a modelagem da absorção de água em carcaças de frango durante o pré-resfriamento por imersão utilizaram a ACP na redução das variáveis de entrada para aplicação em ANN, onde com as primeiras 10 CPs (25 CPs ao total) obtiveram 89,5% da variância. Para os dados coletados nesse estudo seriam necessárias 10 CPs para representar 95% da variância dos dados (Apêndice – Figura 1A). Considerando que foram avaliadas 19 variáveis na ACP, a redução de dimensionalidade não foi muito significativa.

Analisando os vetores das variáveis em relação à CP1 (Figura 7), que é responsável pela segmentação das linhas de processamento, verifica-se que a formação dos *clusters* deveu-se principalmente às maiores velocidades dos *chillers*, temperatura da água do *chiller* 02 e porcentagem de água absorvida na linha 01. Para a linha 02 destacam-se a velocidade de abate, a temperatura da água do pré-*chiller* e a vazão de água do *chiller* 02. As demais variáveis analisadas não se mostraram importantes para a diferenciação das linhas de produção.

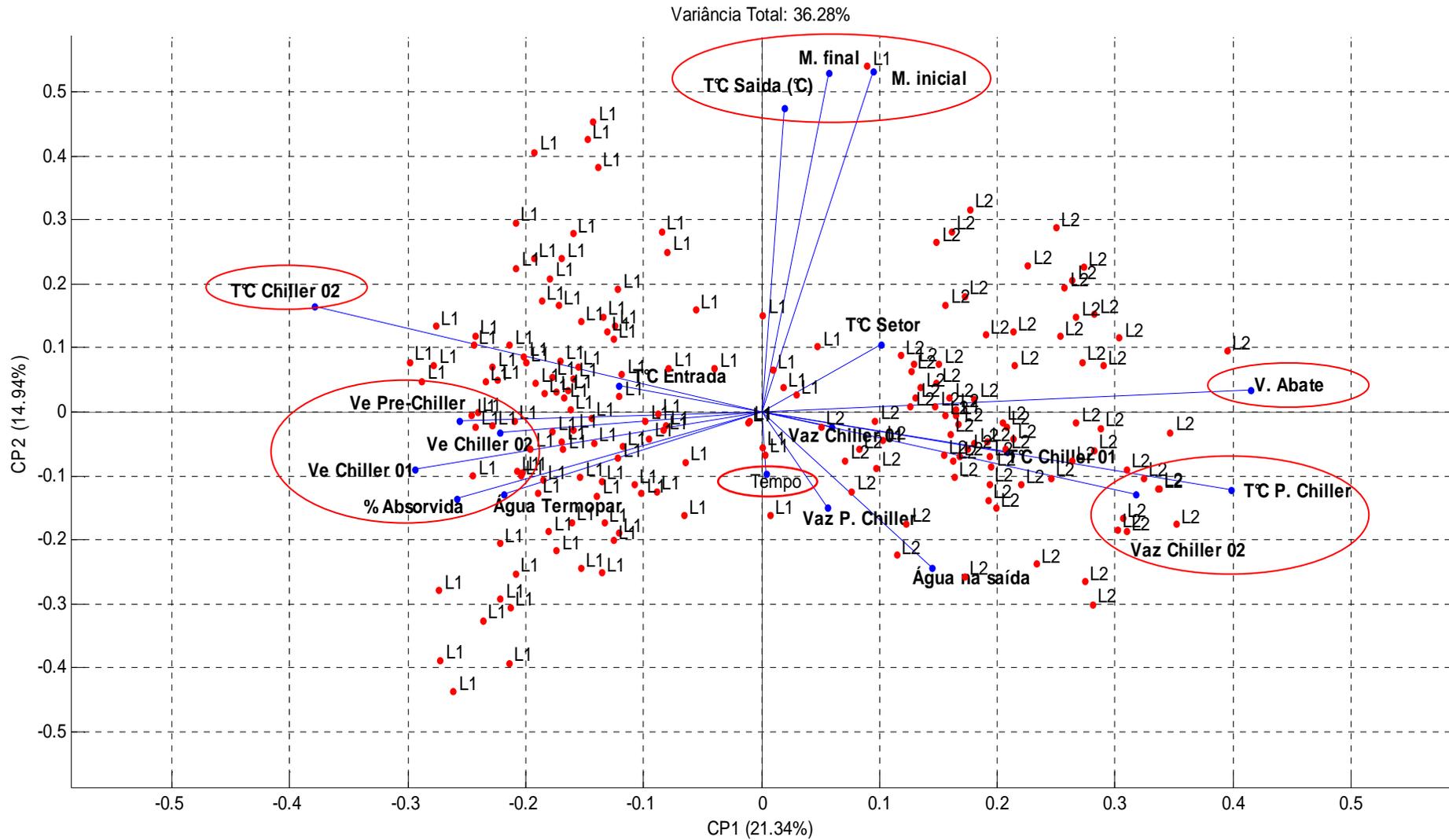


Figura 7 – Gráfico bidimensional dos escores da análise de componentes principais das variáveis estudadas.

Na Figura 7 destaca-se, também, que a variável tempo não apresenta uma correlação importante com o percentual de água absorvida. Alguns trabalhos (CARCIOFI e LAURINDO, 2007; JAMES et al., 2006; MARTINS et al., 2011) relataram a importância do tempo de retenção na absorção de água e na temperatura final da carcaça durante o pré-resfriamento. No entanto, o estudo foi realizado em uma unidade industrial em que o tempo de retenção permaneceu constante e não houve diferenças significativas entre as linhas de abate. A quantidade de água absorvida pela carcaça, portanto, não pode ser associada somente ao tempo de retenção e sim aos outros fatores operacionais (variáveis do processo).

5.2 CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO DO SISTEMA DE PRÉ-RESFRIAMENTO DE CARÇAÇAS

A carga térmica disponível pelos sistemas de pré-resfriamento estudados, de forma direta, conseguiu reduzir a temperatura da carcaça de 41,2 - 41,4 °C até uma temperatura menor ou igual a 7°C. O perfil de redução da temperatura da carcaça em função do tempo (Figura 8) foi igual nas duas linhas de pré-resfriamento. Este perfil de redução da temperatura ou cinética de resfriamento segue a equação de reação de primeira ordem (Equação 1). O mesmo perfil foi obtido por Carciofi e Laurindo (2007) e Carciofi e Laurindo (2010), e mostra a importância do tempo de retenção na redução da temperatura final da carcaça durante o pré-resfriamento.

$$T = T_0 \cdot e^{-k \cdot t} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde

T = Temperatura da carcaça (°C)

T₀ = Temperatura inicial da carcaça (°C)

k = constante de velocidade efetiva (minutos⁻¹)

t = tempo (minutos)

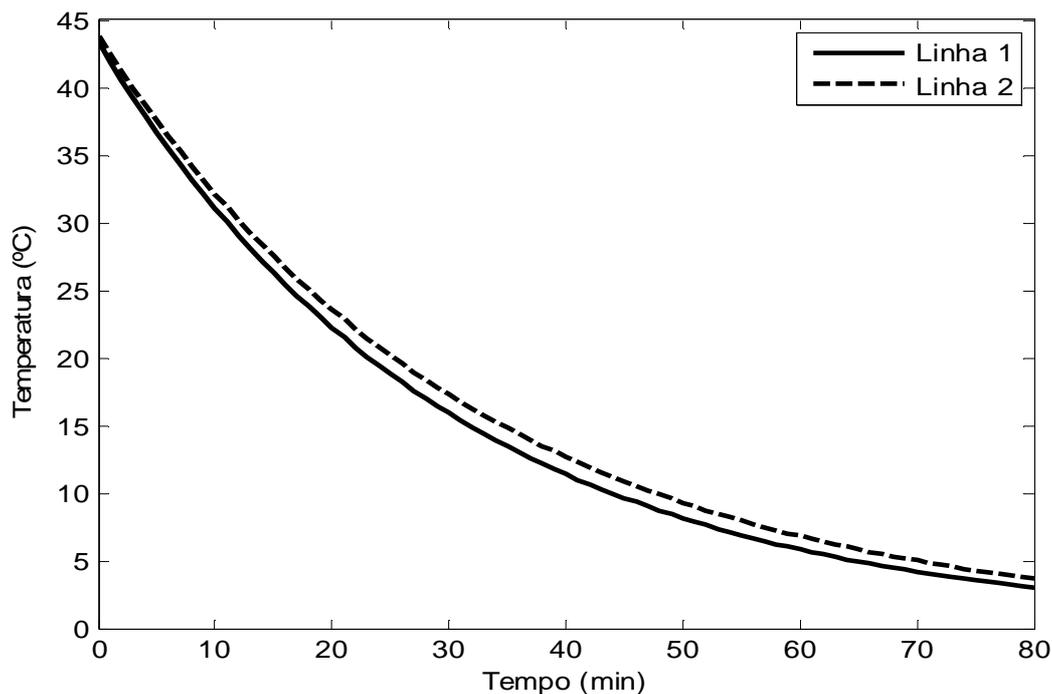


Figura 8 – Perfil de redução de temperatura da carcaça nas duas linhas de abate.

Os parâmetros (T_0 e k) das curvas apresentadas na Figura 8 foram obtidos através de um ajuste linear ($\ln T$ vs. t) dos dados coletados para cada linha de pré-resfriamento (Equação 2 e 3). O R^2 foi de 0,928 e 0,931, com valor de p (ANOVA) $< 10^{-6}$ para as linhas 01 e 02, respectivamente (a ANOVA para as regressões encontra-se no Apêndice, Tabelas A1 e A2).

$$T_{linha\ 01} = 43,3338 \cdot e^{-0,0334 \cdot t} \quad (\text{Equação 2})$$

$$T_{linha\ 02} = 43,8082 \cdot e^{-0,0310 \cdot t} \quad (\text{Equação 3})$$

O cálculo de carga térmica de pré-resfriamento foi obtido com os valores médios das características do processo de pré-resfriamento apresentados na Tabela 1, os valores médios de consumo de água e gelo (Tabela 2) e as propriedades da carne de frango e do sistema (Tabela 3). A carga térmica requerida para o processo de pré-resfriamento foi obtida por meio da Equação 4, e a carga térmica disponível pelo sistema de pré-resfriamento de carcaças foi obtida usando a Equação 5, conforme Dossat (1961). Foi considerado que para a redução da temperatura, o calor removido da carcaça de frango é

devido à água gelada e o gelo utilizado no processo conforme o fluxo de aves por hora e o número de aves abatidas, avaliados durante o período de estudo.

$$Q_{\text{requerido}} = Q_{\text{sistema}} + Q_{\text{carne}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$Q_{\text{diponível}} = Q_{\text{água}} + Q_{\text{gelo}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$$Q_{\text{sistema}} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{Equação 6})$$

$$Q_{\text{carne}} = w \cdot c_{p1} \cdot \Delta T \quad (\text{Equação 7})$$

$$Q_{\text{água}} = m_{\text{água}} \cdot c_{p2} \cdot \Delta T \quad (\text{Equação 8})$$

$$Q_{\text{gelo}} = m_{\text{gelo}} \cdot \lambda_{\text{fusão}} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

Q_{sistema} = Quantidade de calor do sistema de pré – resfriamento (kcal. h⁻¹)

Q_{carne} = Quantidade de calor da carcaça de frango (kcal. h⁻¹)

$Q_{\text{água}}$ = Quantidade de calor da água gelada (kcal. h⁻¹)

Q_{gelo} = Quantidade de calor do gelo (kcal. h⁻¹)

U = coeficiente global de transferência de calor (kcal. h⁻¹. m⁻². °C⁻¹)

A = área de troca térmica do sistema (m²)

w = quantidade de carcaça (kg. h⁻¹)

c_{p1} = capacidade calorífica da carcaça de frango (kcal. h⁻¹. kg⁻¹. K⁻¹)

c_{p2} = capacidade calorífica da água gelada (kcal. h⁻¹. kg⁻¹. K⁻¹)

$m_{\text{água}}$ = quantidade de água gelada (kg. h⁻¹)

m_{gelo} = quantidade de gelo (kg. h⁻¹)

$\lambda_{\text{fusão}}$ = calor latente de fusão da água (kcal. kg⁻¹)

ΔT = diferença entre as temperaturas (°C)

Segundo Huezo e Smith (2007) o pré-resfriamento por imersão é um processo que consome muita água, aproximadamente 2,9 litros/ave para encher o tanque no início, seguido de um fluxo adicional de 1,9 litros/ave para o processo. Para o consumo de gelo recomenda-se 0,25kg de gelo por kg de carcaça (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Foi registrado nos Estados Unidos um consumo médio de água de 26 litros/ave para o processamento de frangos de corte (NORTHCUTT e JONES, 2004). Na Tabela 2, pode ser observado que para o pré-resfriamento de carcaças o consumo médio de água gelada foi de

3,8 e 3,6 litros/ave, e o consumo médio de gelo foi de 1,01 e 0,91 kg/ave, na linha 01 e na linha 02, respectivamente.

Tabela 2 – Consumo de água e gelo no processo contínuo de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo em duas linhas de abate.

	Linha 01 ^a	Linha 02 ^a
Água gelada (kg/hora)	21.446,9* ± 2.116,0	22.278,1* ± 3.704,3
Água gelada (litros/ave)	3,80* ± 0,09	3,60* ± 0,10
Gelo (kg/hora)	7.757,7 ± 575,0	7.737,7 ± 2.235,9
Gelo (kg/ave)	1,01 ± 0,09	0,91 ± 0,2

^a resultados apresentados como média e desvio padrão dos dados coletados.

*as médias das colunas apresentam diferença significativa ($p < 0,05$).

Tabela 3 – Propriedades da carne de frango e do sistema contínuo de pré-resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo das duas linhas de abate.

	Linha 01	Linha 02
Quantidade média de carcaça (kg/hora)	15.525,7	19.114,3
Área de troca térmica do sistema (m ²)	267	244
Coefficiente global de transferência de calor U (kcal.h ⁻¹ .m ⁻² .°C ⁻¹)	13,64*	
Condutividade térmica do aço inox AISI 316 (kcal. h ⁻¹ .m ⁻¹ .K ⁻¹)	11,53*	
Coefficiente de película da água a 0°C (kcal.h ⁻¹ .m ⁻² .K ⁻¹)	68,83*	
Coefficiente de película do ar a 10°C (kcal.h ⁻¹ .m ⁻² .K ⁻¹)	17,21*	
Capacidade calorífica c_{p1} da carne de frango acima do ponto de congelamento (kcal.h ⁻¹ .kg ⁻¹ .K ⁻¹)	0,703*	
Capacidade calorífica c_{p2} da água a 0°C (kcal.h ⁻¹ .kg ⁻¹ .K ⁻¹)	1,01*	
Calor latente de fusão do gelo $\lambda_{fusão}$ (kcal.kg ⁻¹)	79,75*	
Temperatura média da água no interior dos tanques (°C)	1,02	2,55
Temperatura média inicial da água dos tanques (°C)	-0,06	0,4
Temperatura média final da água dos tanques (°C)	3,08	5,23
Temperatura de saída da carcaça (°C)	4,00	4,00
Espessura do tanque de aço inox (m)	0,008	0,008

*Fonte: Çengel e Ghajar (2012).

A carga térmica requerida e disponível para o pré-resfriamento de carcaças da linha 01 e da linha 02 em função da velocidade de abate pode ser visualizada nas Figuras 9. Na Figura 10 encontra-se a carga térmica requerida em função da massa inicial da carcaça.

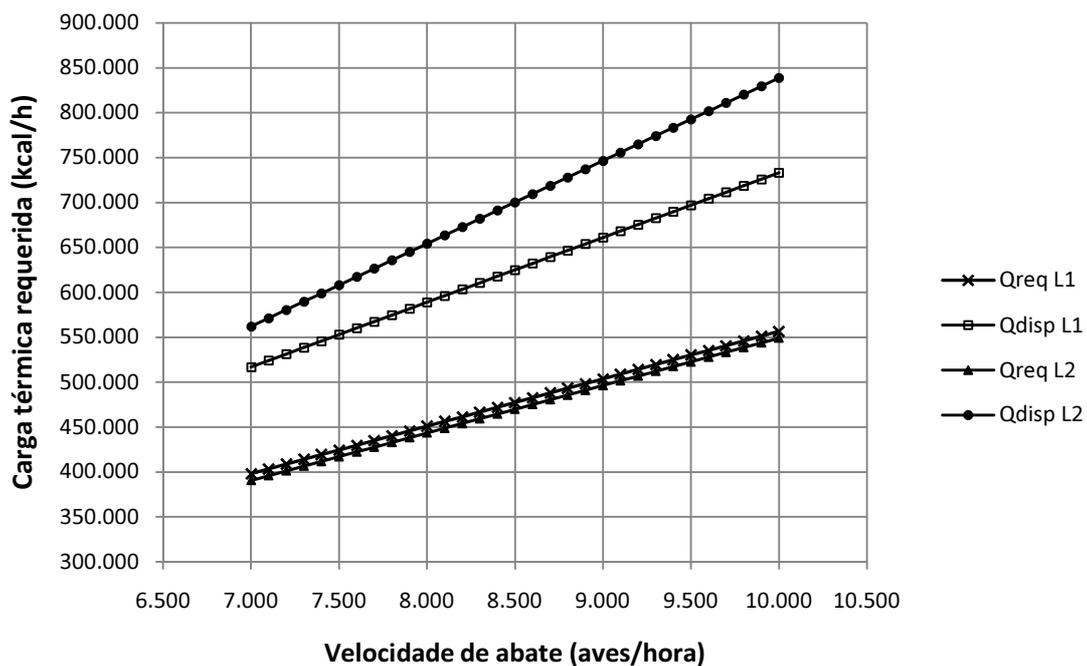


Figura 9 – Carga térmica requerida e disponível para o pré-resfriamento de carcaças em função da velocidade de abate da Linha 1 e 2.

Nas duas linhas de pré-resfriamento a carga térmica disponível pelo sistema (Figuras 9) consegue fornecer energia suficiente (kcal/h) para a redução da temperatura da carcaça a um valor médio de 4°C conforme o perfil de redução de temperatura mostrado na Figura 8. A linha 02 mostrou uma maior carga térmica disponível, devido a uma maior vazão de água gelada (litros/hora) e uma maior faixa de temperatura da água no interior dos tanques de pré-resfriamento. Estes resultados, obtidos com valores médios, podem sofrer alterações durante o processo de pré-resfriamento e foi considerado neste estudo como uma estimativa ou referência de valores, devido às altas variações na velocidade de abate, na massa inicial da carcaça e no controle operacional do sistema.

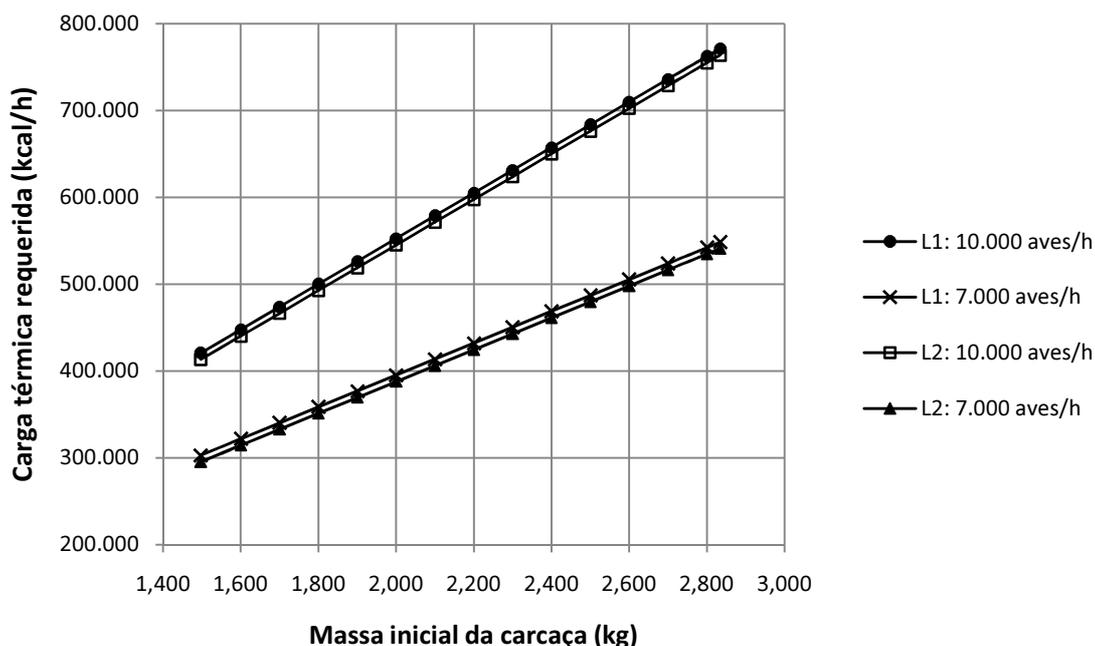


Figura 10 – Carga térmica requerida para o pré-resfriamento de carcaças em função da massa inicial da Linha 1 e 2.

Na Figura 10 pode ser observada a importância da massa inicial da carcaça no processo de pré-resfriamento. O aumento na massa inicial leva ao aumento da carga térmica requerida. Este aumento pode comprometer a temperatura final da carcaça em linhas de abate que apresentem alta variação na massa inicial das carcaças, pois conforme mostrado na Figura 10, um aumento na velocidade de abate de 7.000 para 10.000 aves/hora exigiu, de forma imediata, uma maior carga térmica para a redução da temperatura da carcaça. A variável massa inicial da carcaça e velocidade de abate foi destacada na ACP ao longo da segunda componente principal (CP2) que contém 14,94% da variância contida nos dados. Além disso, de acordo com os vetores das variáveis existe forte correlação entre a massa inicial da ave e a temperatura de saída.

5.3 MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS (SOM)

As 5000 épocas de treinamento do mapa garantiram uma convergência do erro de quantização médio (Figura 11).

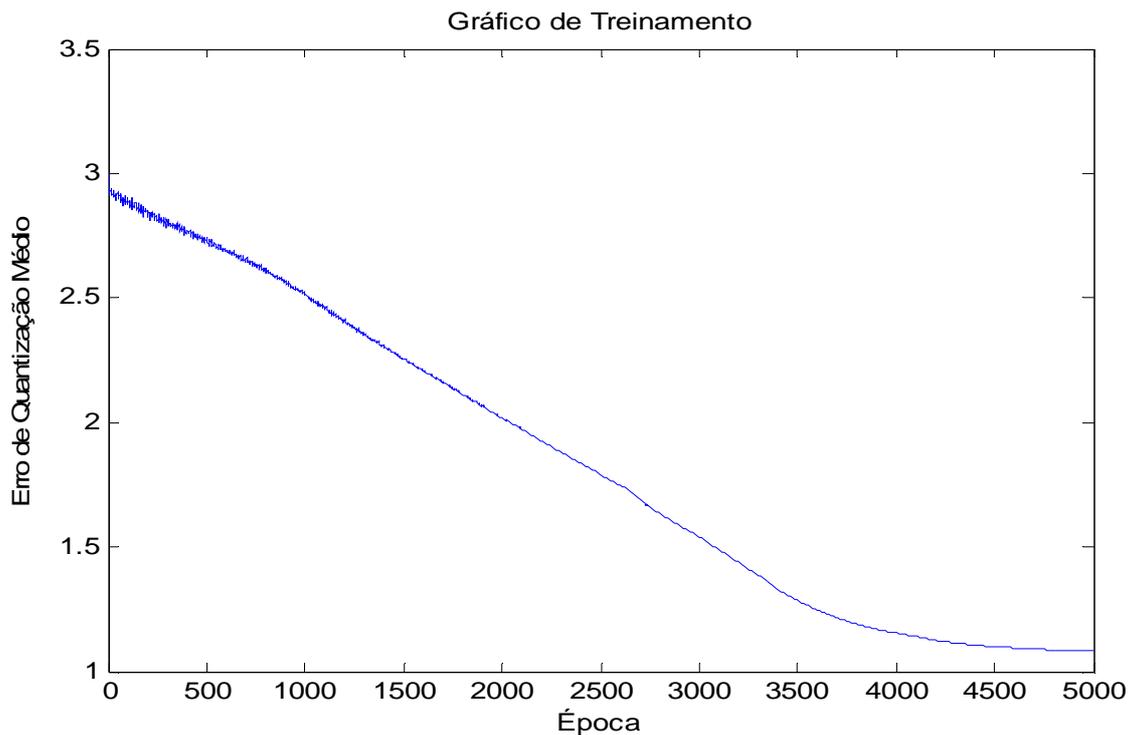


Figura 11 - Convergência do erro de quantização médio durante o treinamento do mapa com 10 neurônios em cada dimensão.

Para visualizar a diferença entre o processo de pré-resfriamento de carcaças em relação às duas linhas de abate, foram elaborados mapas de pesos e mapas topológicos da linha de abate, referente às seguintes variáveis estudadas: velocidade de abate (aves/hora); tempo de retenção (minutos); temperatura inicial e final da carcaça (°C), massa inicial da carcaça (g), teor de água absorvida (%), temperatura Setor de pré-resfriamento (°C), temperatura da água do Pré-Chiller, Chiller 01 e Chiller 02 (°C); água de abastecimento na fonte (°C); água abastecimento na saída (°C); vazão de água do Pré-Chiller, Chiller 01 e Chiller 02 (litros/h); velocidade do Pré-Chiller, Chiller 01 e Chiller 02 (% da velocidade total).

Foram discutidos os mapas de pesos e os mapas topológicos das principais variáveis do processo de pré-resfriamento de carcaças que, neste estudo, diferenciam uma linha de abate da outra e podem influenciar no teor de absorção de água e temperatura de saída da carcaça após o pré-resfriamento. Os demais mapas podem ser visualizados no final, na seção de Apêndices.

Como na ACP, o uso dos mapas auto-organizáveis (SOM) originou uma evidente segmentação das linhas de abate. Uma das vantagens do SOM é possibilitar a análise separada de cada variável do processo e sua contribuição

para a segmentação das amostras. Na ACP as variáveis são linearmente combinadas e a análise da distribuição ao longo das CPs sofre a contribuição de todas as variáveis. Assim, uma análise isolada não é possível.

As variáveis que identificaram claramente a diferença entre as linhas de abate foram: velocidade de abate (Figura 12); temperatura da água do Pré-Chiller (Figura 13), *Chiller* 01 (Figura 14) e *Chiller* 02 (Figura 15); temperatura da água de abastecimento (Figura 16); vazão de água do *Chiller* 02 (Figura 17), velocidade do do Pré-Chiller (Figura 18), *Chiller* 01 (Figura 19) e *Chiller* 02 (Figura 20). Estas variáveis podem influenciar significativamente a temperatura de saída da carcaça e o percentual de água absorvida no final do pré-resfriamento nas linhas de abate.

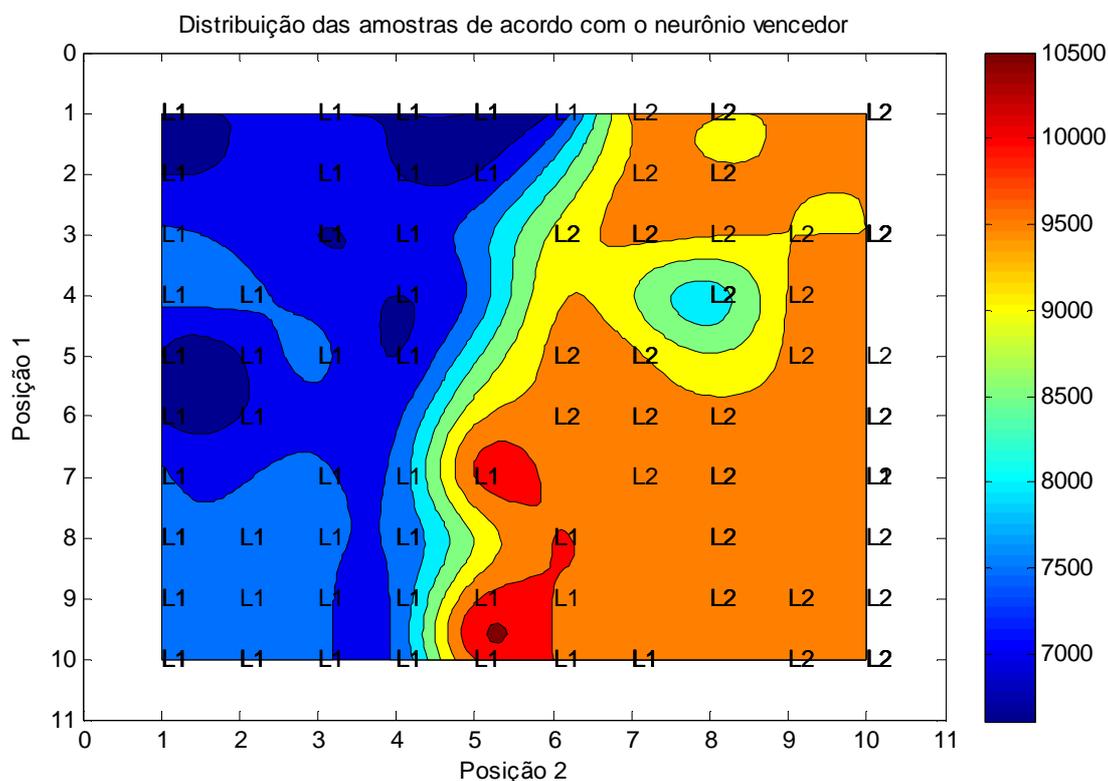


Figura 12 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade de abate. Na escala de cores as unidades são aves/hora.

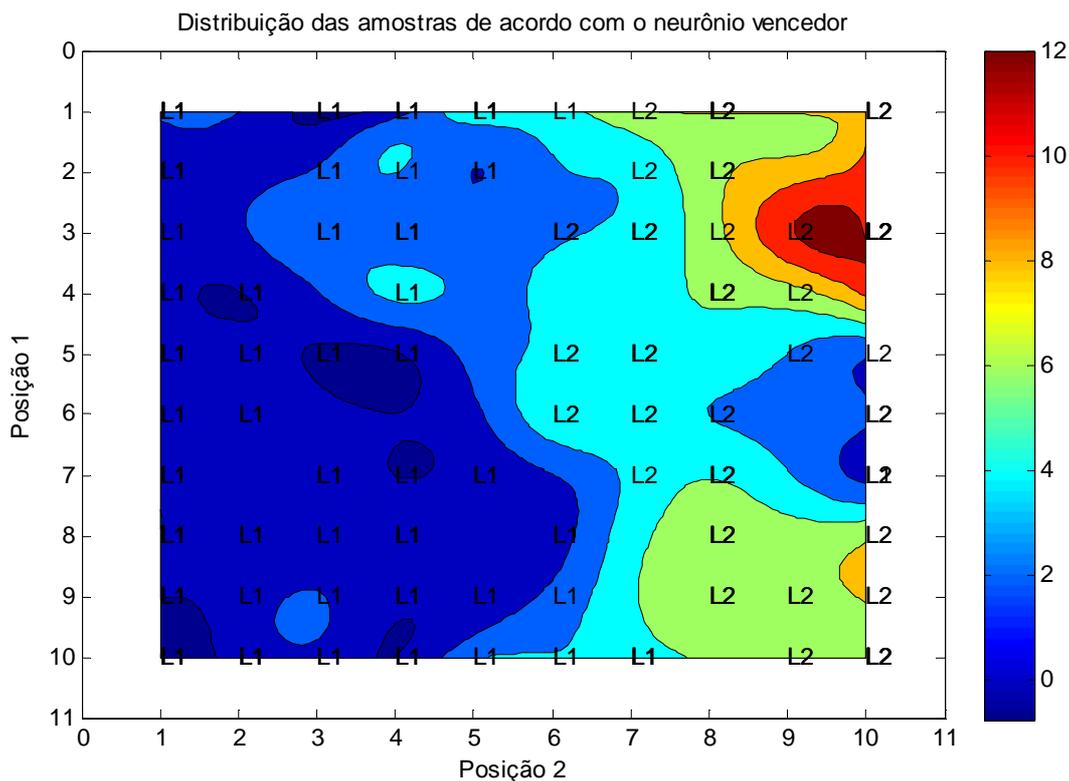


Figura 13 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água do Pré-chiller. Na escala de cores as unidades são °C.

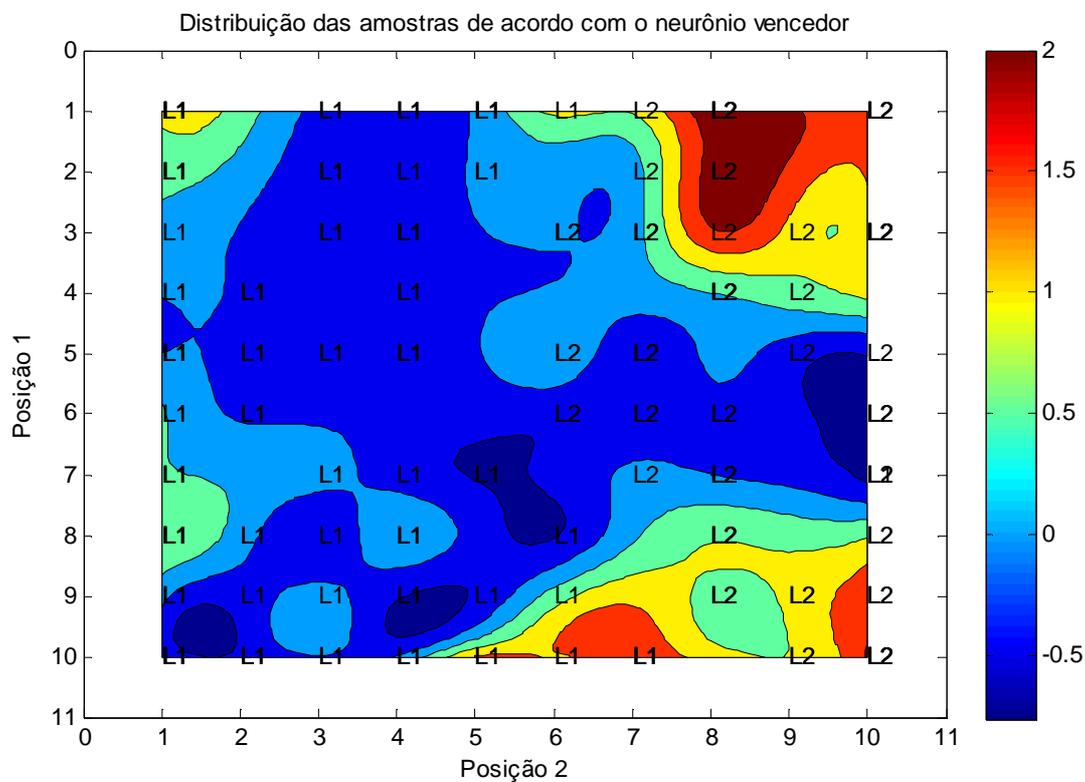


Figura 14 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água do Chiller 01. Na escala de cores as unidades são °C.

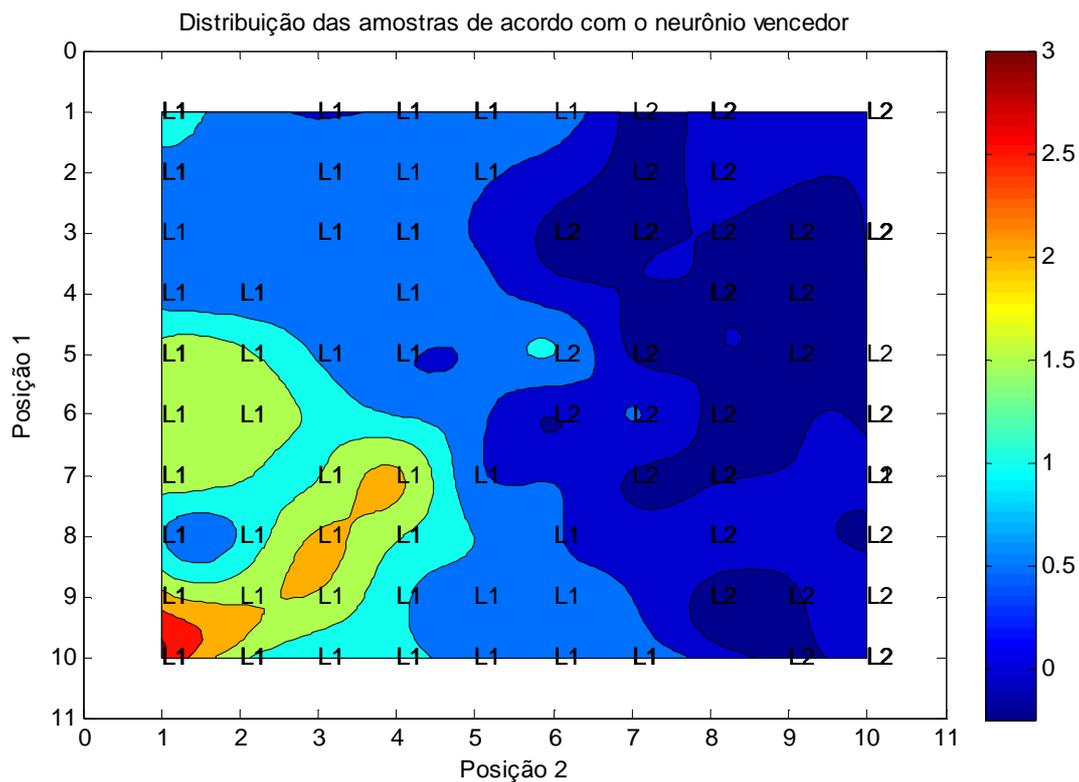


Figura 15 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água do *Chiller 02*. Na escala de cores as unidades são $^{\circ}\text{C}$.

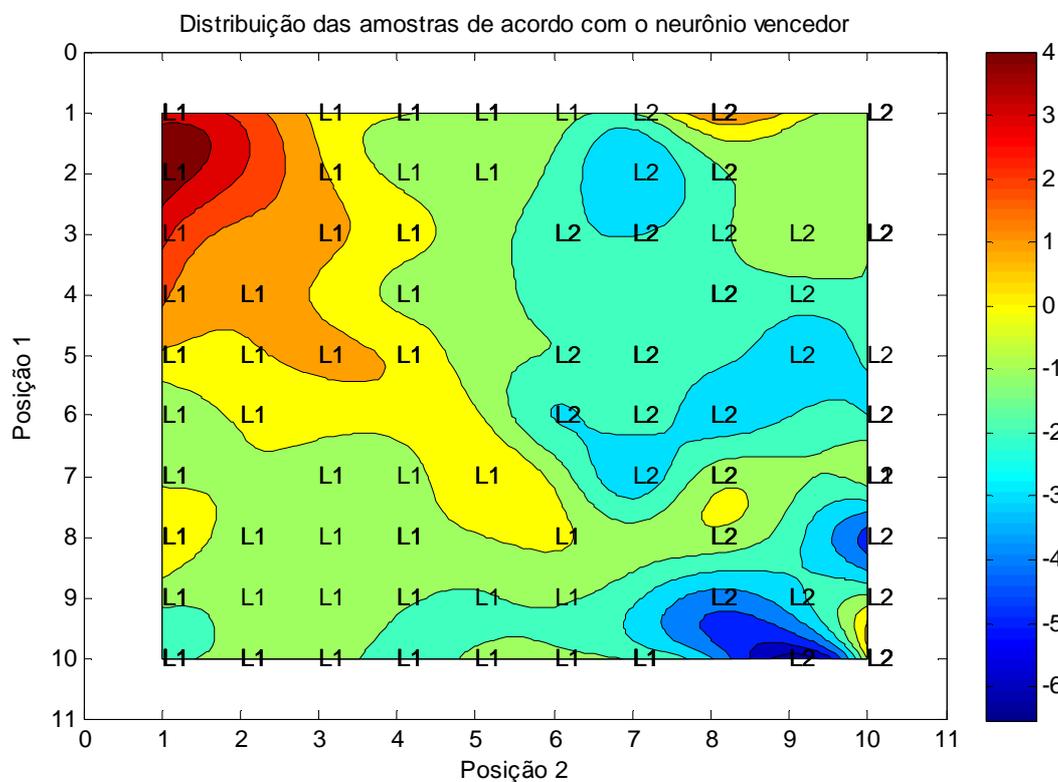


Figura 16 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da água de abastecimento na fonte. Na escala de cores as unidades são $^{\circ}\text{C}$.

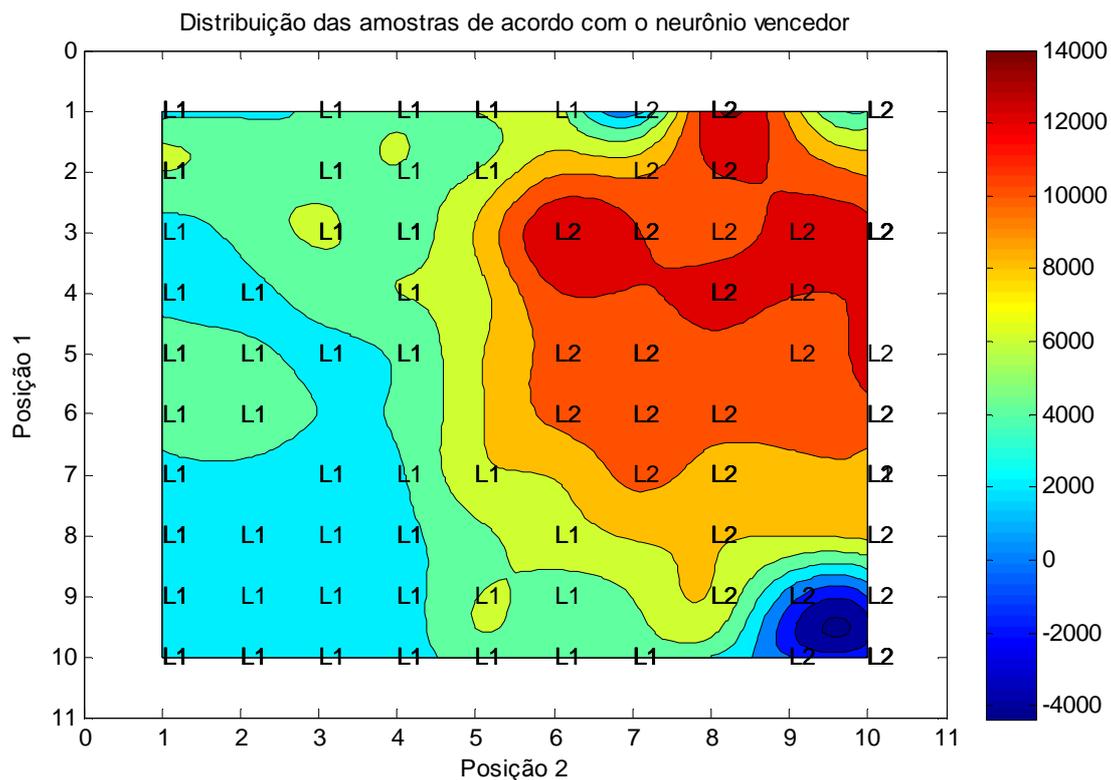


Figura 17 - Mapas de pesos e topológico para a variável vazão de água do *Chiller* 02. Na escala de cores as unidades são litros/hora.

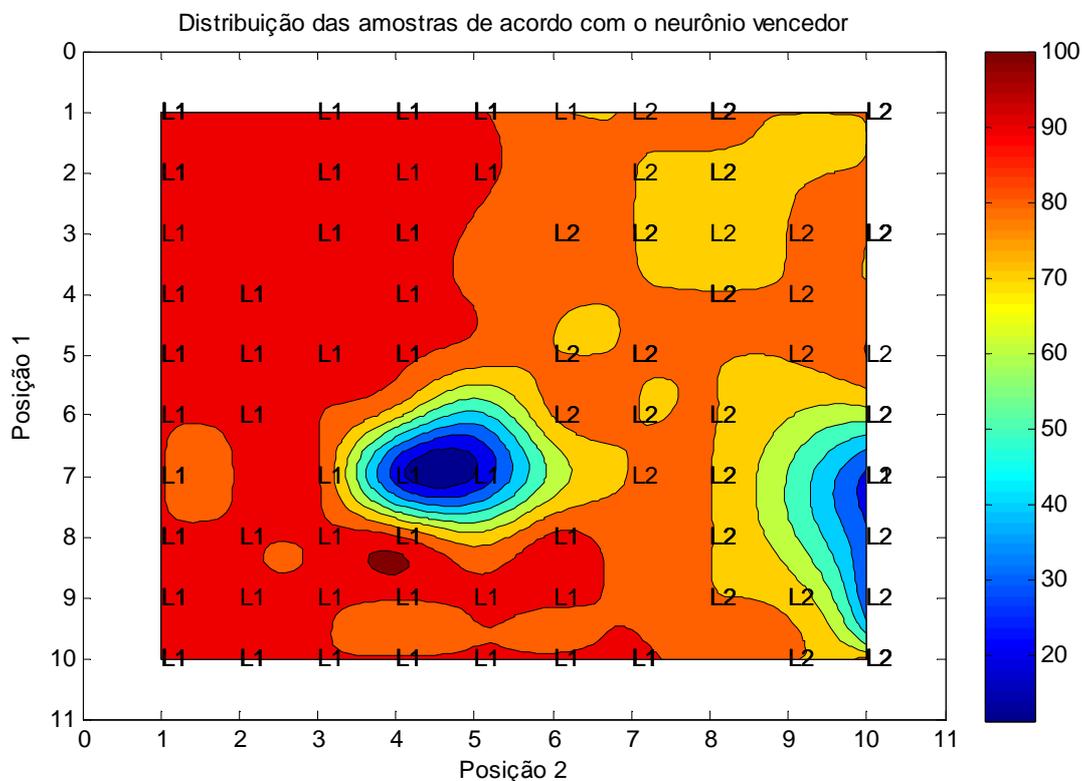


Figura 18 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade do *Pré-Chiller*. Na escala de cores as unidades são %.

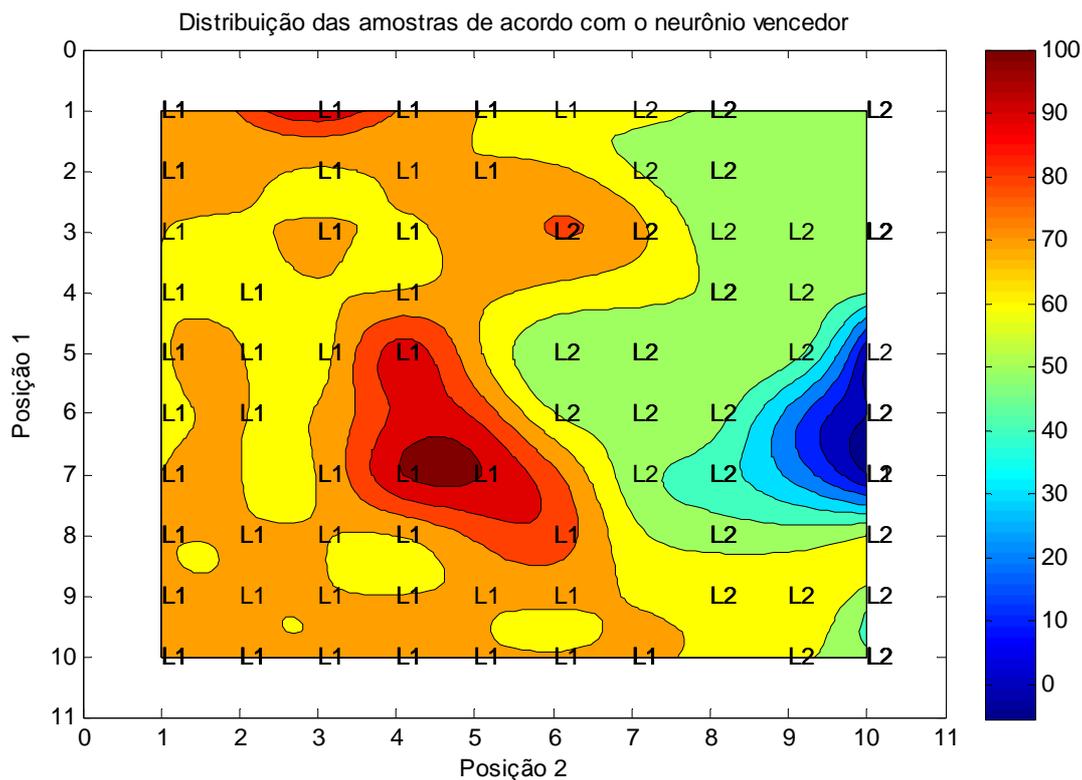


Figura 19 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade do *Chiller* 01. Na escala de cores as unidades são %.

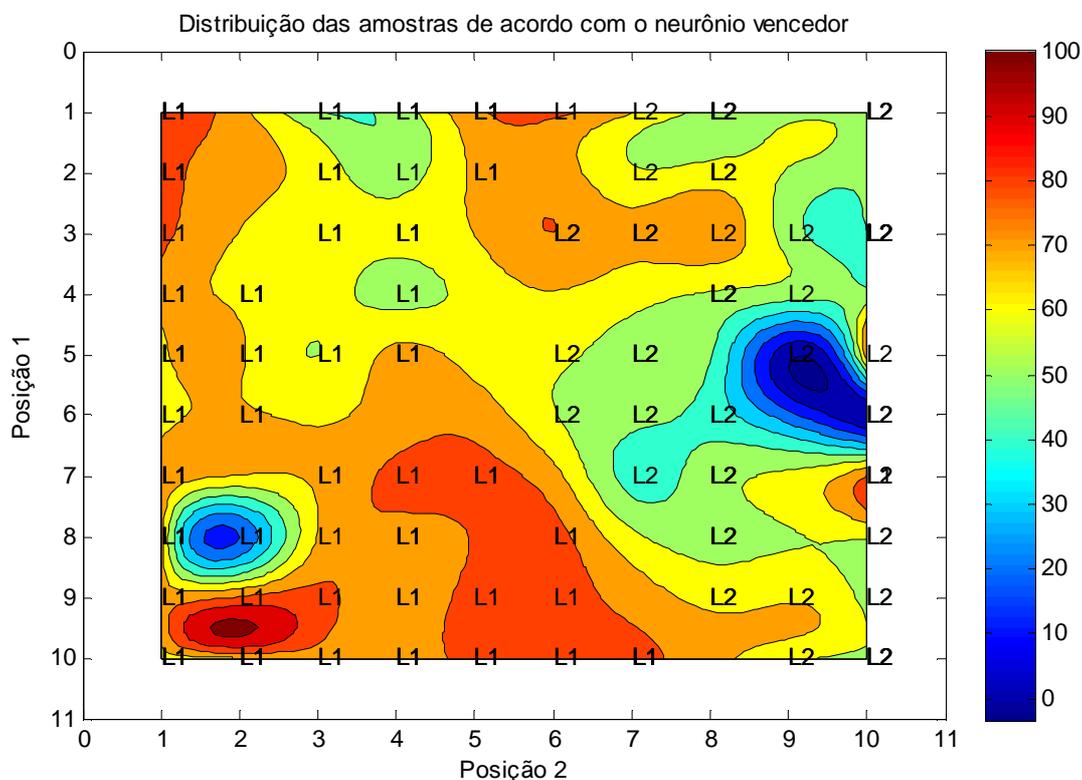


Figura 20 - Mapas de pesos e topológico para a variável velocidade do *Chiller* 02. Na escala de cores as unidades são %.

Esta diferença significativa entre as linhas, visualizada por meio dos mapas auto-organizáveis, também esta de acordo com os valores obtidos na Tabela 1 e com a ACP (Figura 7). O comportamento das linhas de abate, com relação à variável tempo de retenção da carcaça (Figura 22) e temperatura final da carcaça (Figura 23) foi uniforme entre as linhas de abate, em acordo com a Tabela 1. Porém é possível visualizar, no mapa de pesos e topológico, que mais amostras da linha 01 apresentaram tempos de retenção maiores.

A linha 01 apresentou menor temperatura da água no Pré-chiller (Figura 13) e no Chiller 01 (Figura 14), porém a linha 02 mostrou menor temperatura da água no Chiller 02, menor temperatura da água de abastecimento e maior vazão de água no Chiller 02 (Figura 15, 16 e 17, respectivamente). Estes fatores contribuíram na redução da temperatura da carcaça, mesmo que as linhas operassem de forma diferente.

No interior dos tanques de pré-resfriamento, a movimentação das carcaças ocorre por meio de roscas helicoidais (rosca sem fim) associadas ao borbulhamento constante com ar comprimido (instalado no fundo do tanque), conforme mostrado na Figura 21. A movimentação das carcaças somada ao fluxo contracorrente de água limpa e gelada proporcionou ao sistema de pré-resfriamento uma melhor transferência de calor para a redução da temperatura final da carcaça.



Figura 21 – Movimentação e borbulhamento do Tanque “chiller” para resfriamento de carcaças por imersão em água e gelo.

Em destaque às Figuras 18, 19 e 20, em que pode ser observado o modo de operação na velocidade dos tanques de pré-resfriamento, a linha 01 (L1) opera com maior velocidade nos três tanques que a linha 02 (L2). Isto se deve aos seguintes fatores: a linha 01 apresenta 3 metros a mais de comprimento (no *Chiller* 02) que a linha 02; exigência de alcançar um tempo uniforme de produção (tempo de retenção da carcaça) nas duas linhas; e velocidade de abate menor e com alta variação. Este aumento na velocidade de movimentação das carcaças na linha 01 pode ter influenciado na obtenção de um maior percentual de absorção de água, ao comparar-se com a linha 02. Uma maior agitação, causado pelo aumento da velocidade dos tanques, associado ao borbulhamento constante de ar comprimido sugere, por tanto, uma maior absorção de água pela carcaça. Este comportamento também foi relatado por Carciofi e Laurindo, (2007) e James et al. (2006).

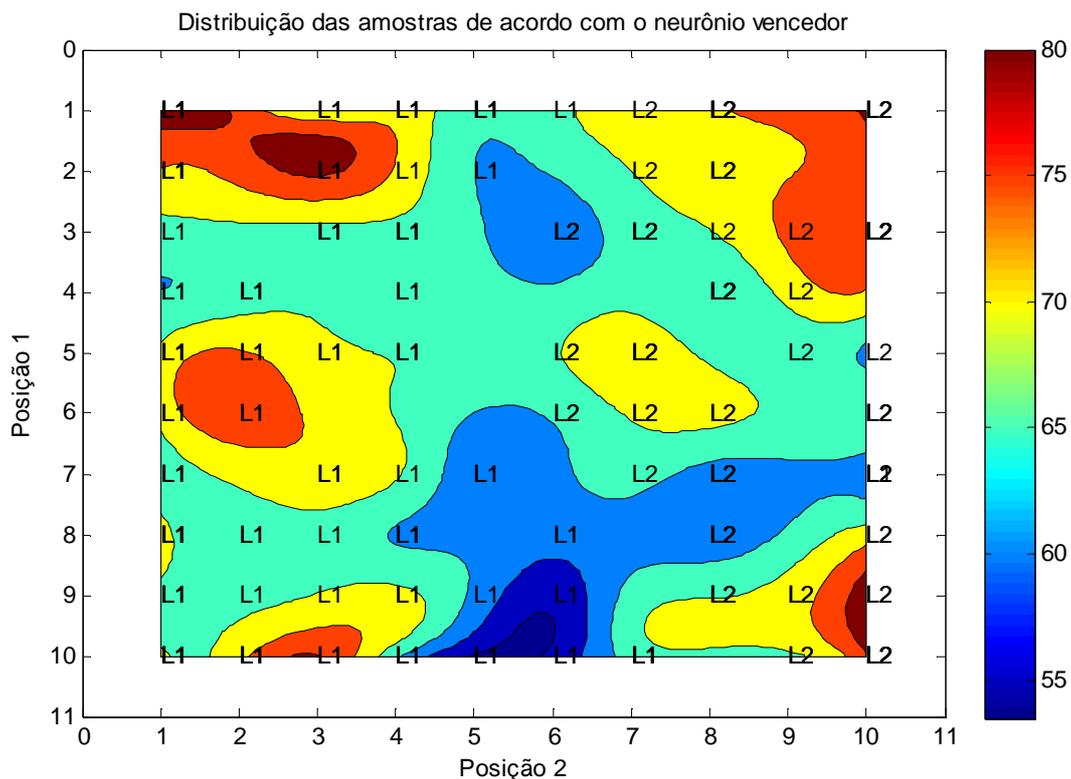


Figura 22 - Mapas de pesos e topológico para a variável tempo de resfriamento. Na escala de cores as unidades são minutos.

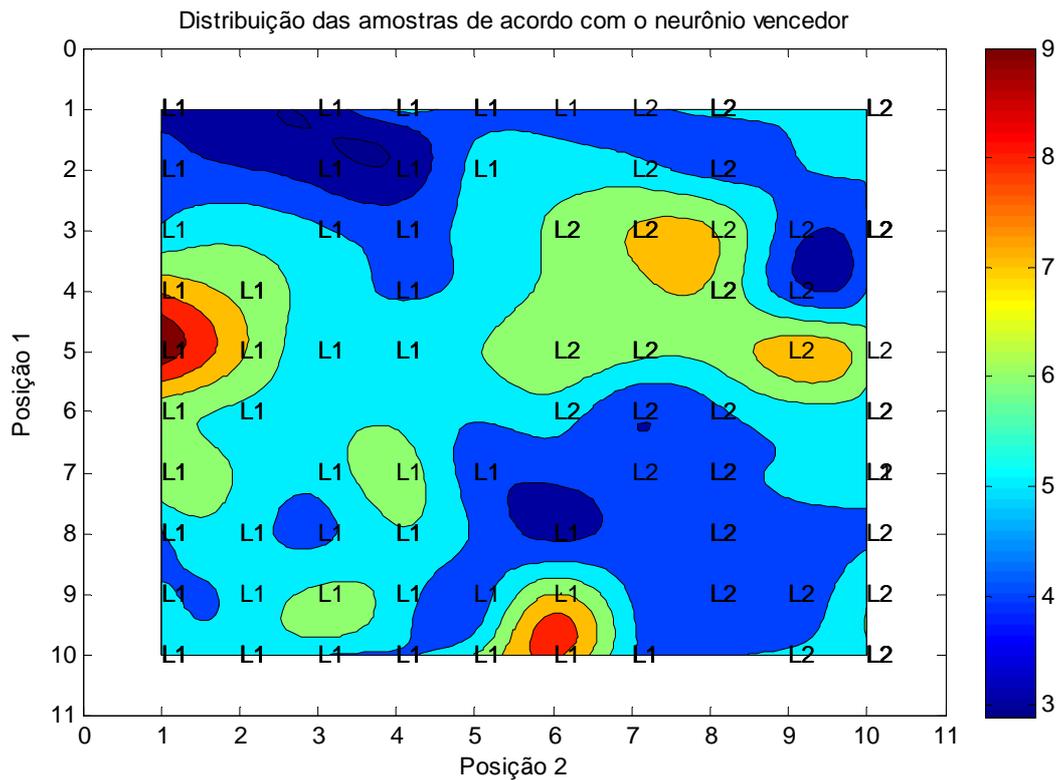


Figura 23 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura final da carcaça. Na escala de cores as unidades são °C.

Nas Figuras 24 e 25, pode ser observado o comportamento do percentual de absorção de água e da e massa inicial da carcaça, respectivamente. De forma não muito clara, houve uma tendência das carcaças com maior massa apresentar maiores teores de absorção de água, principalmente na linha 01 (L1), no entanto, a massa inicial obtida durante o estudo foi uniforme nas duas linhas e um aumento no percentual de absorção deve ser associado a outros fatores, conforme indica Young e Smith (2004).

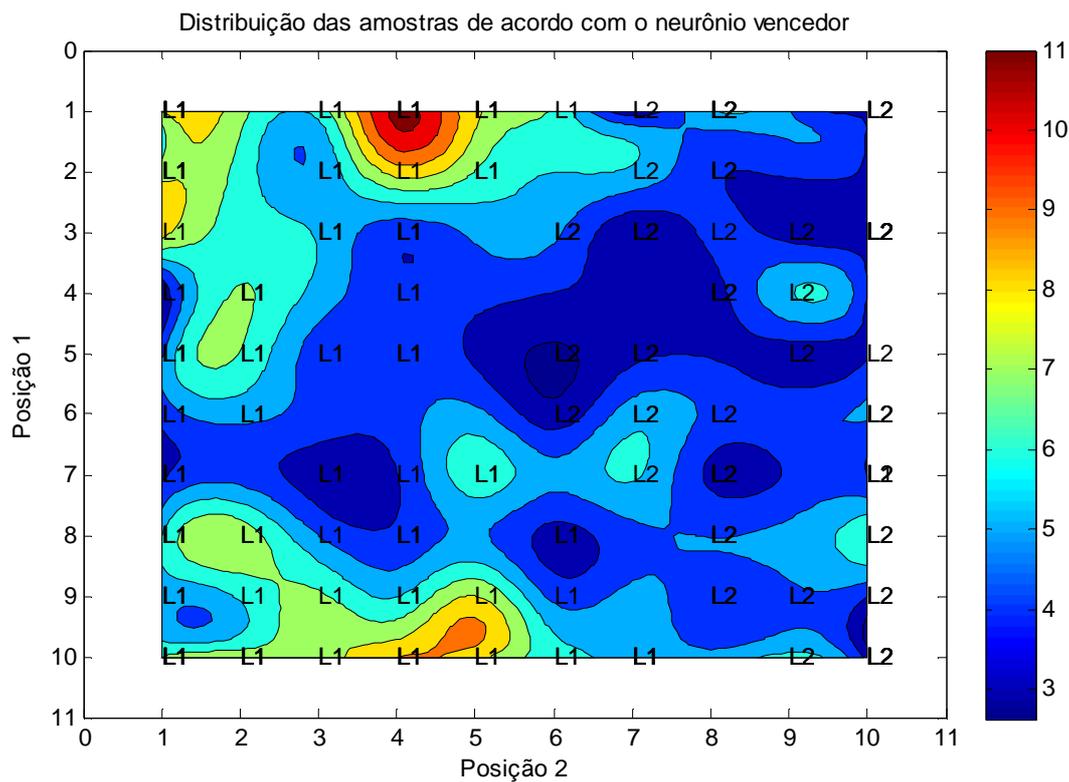


Figura 24 - Mapas de pesos e topológico para a variável teor absorção de água da carcaça. Na escala de cores as unidades são %.

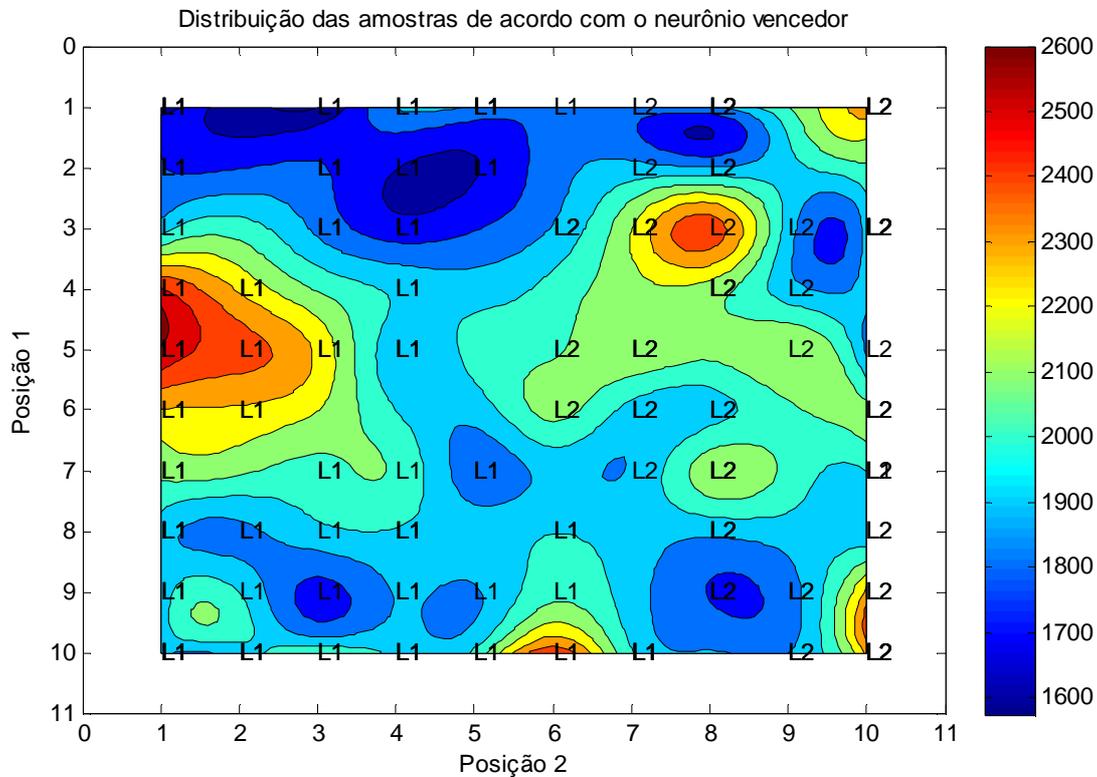


Figura 25 - Mapas de pesos e topológico para a variável massa inicial da carcaça. Na escala de cores as unidades são gramas (g).

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que é difícil manter um padrão de temperatura de saída e absorção de água da carcaça durante o pré-resfriamento, mesmo que a massa inicial das carcaças seja constante e com mínima variação. Não existe uma correlação direta entre temperatura de saída e absorção de água da carcaça, no entanto são altamente correlacionados ao conjunto de variáveis analisadas (todas foram importantes). A temperatura final e o teor de água absorvida das carcaças obtidas permaneceram, em média, dentro do recomendado pela legislação.

O aumento na massa inicial pode comprometer a temperatura final da carcaça em linhas de abate que apresentem alta variação na massa inicial das carcaças e velocidade de abate. O aumento na velocidade de abate, associado à alta variação na massa da carcaça, exigiu uma maior carga térmica ao sistema para a redução da temperatura da carcaça.

O problema da absorção de água em carcaças de frango continua sendo crítico no processo de pré-resfriamento, muito variável e de difícil predição. Ao comparar duas linhas de pré-resfriamento foi possível compreender melhor os principais fatores operacionais responsáveis pelo teor de água absorvida pela carcaça e sua temperatura final.

Por meio da análise de componentes principais (ACP) observou-se uma clara separação das amostras provenientes de cada linha de pré-resfriamento ao longo da CP1 e com a segmentação das linhas de processamento verificou-se a formação dos *clusters*.

Os mapas de pesos e topológicos obtidos por meio das redes neurais artificiais (ANN) possibilitaram a análise separada de cada variável do processo e sua contribuição para a segmentação das amostras. Na ACP as variáveis são linearmente combinadas e a análise da distribuição ao longo das CPs sofre a contribuição de todas as variáveis, assim, uma análise isolada não é possível.

Para a análise de dados de um processo industrial a aplicação de métodos multivariado linear (ACP) e não-linear (ANN) foi eficiente na extração de informações para um controle adequado do processo, principalmente com variáveis que apresentam uma complexa relação, como no pré-resfriamento de carcaças.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUADO, D.; MONTOYA, T.; BORRAS, L.; SECO, A.; FERRER, J. Using SOM and PCA for Analysing and Interpreting Data from a P-Removal SBR. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 21, p.919–930, 2008. doi:10.1016/j.engappai.2007.08.001.

ASTEL, A., TSAKOVSKI, S.; BARBIERI, P.; SIMEONOV, V.. Comparison of Self-Organizing Maps Classification Approach with Cluster and Principal Components Analysis for Large Environmental Data Sets. **Water Research**, v.41, p.19, p.4566–78, (November) 2007. doi:10.1016/j.watres.2007.06.030. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17632213>.

BAILEY, C.. Chilling Rates , Chilling Systems and Novel Refrigeration Systems. **Int. J. Refrig.**, v.10, p.112 – 116, 1987.

BARBUT, S.. Past and Future of Poultry Meat Harvesting Technologies. **World's Poultry Science Journal**, v.66, p.399–410, 2010. doi:10.1017/S0043933910000498.

BONA, Evandro; DA SILVA, Sérgio Rui dos Santos; BORSATO, Dionísio; BASSOLI, Denisley Gentil. Self-Organizing Maps as a Chemometric Tool for Aromatic Pattern Recognition of Soluble Coffee. **Acta Scientiarum**, v.34,n.1, p.111–119, 2012. doi:10.4025/actascitechnol.v34i1.10892.

BORSATO, Dionísio; MOREIRA, Ivanira; NOBREGA, Marcelo Medre; MORIETE, Mariete Barbosa; DIAS, Gabriel Henrique. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na Identificação de Gasolinas Adulteradas Comercializadas na Região de Londrina - Paraná. **Química Nova**, v.32, n.9, p.2328–2332, 2009.

BRAGA, Antônio de Pádua; CARVALHO, André Carlos Ponce de Leon Ferreira de; LUDEMIR, Teresa Bernarda. **Redes Neurais Artificiais: teoria e aplicações**. 2 ed., Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRASIL. **Portaria Nº 210, DE 10 DE NOVEMBRO DE 1998**. Aprovar o Regulamento Técnico da Inspeção Tecnológica e Higiénico-Sanitária de Carne de Aves. Publicado no Diário Oficial da União de 26/11/1998 , Seção 1, Página 226, 1998.

ÇENGEL, Yunnus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. Quarta edição, São Paulo: McGraw-Hill, 2012.

CARCIOFI, Bruno A. M.; LAURINDO, João B. Water Uptake by Poultry Carcasses during Cooling by Water Immersion. **Chemical Engineering and Processing**, v.46, p.444–450, 2007. doi:10.1016/j.cep.2006.05.020.

CARCIOFI, Bruno A. M.; LAURINDO, João B. Experimental Results and Modeling of Poultry Carcass Cooling by Water Immersion. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.2, p.447–453, 2010.

DEHGHANI, Amir Ahmad; MOHAMMADI, Zahra Beig; MAGHSOUDLOU, Yahya; MAHOONAK, Alireza Sadeghi. Intelligent Estimation of the Canola Oil Stability Using Artificial Neural Networks. **Food Bioprocess Technol**, v.5, p.533–540, 2012. doi:10.1007/s11947-009-0314-8.

DOSSAT, Roy J..**Principles of Refrigeration**. John Wiley International Edition, New York, 1961.

FAO (2013). **Food and Agriculture Organization of the United Nations** – FAO. FAOSTAT. Disponível em: < <http://www.fao.org/statistics/en/>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

HAYKIN, Simon. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.

HEIKKINEN, M.; POUTIAINEN, H.; LIUKKONEN, M.; HEIKKINEN, T.; HILTUNEN, Y. Subtraction Analysis Based on Self-Organizing Maps for an Industrial Wastewater Treatment Process. **Mathematics and Computers in Simulation**, v.82, n.3, p.450–459, 2011. doi:10.1016/j.matcom.2010.10.021.

HOTELLING, H. Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components.” **Journal of Educational Psychology**, v.24, n.6, p.417–441, 1933. doi:10.1037/h0071325.

HUEZO, R.; SMITH, D. P.; NORTH CUTT, J. K.; FLETCHER, D. L. Effect of Immersion or Dry Air Chilling on Broiler Carcass Moisture Retention and Breast Fillet Functionality. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.16, p.438–447, 2007.

JAMES, C.; VINCENT, C.; ANDRADE LIMA, T. I. de; JAMES, S. J. The Primary Chilling of Poultry Carcasses - a Review. **International Journal of Refrigeration**, v.29, p.847–862, 2006. doi:10.1016/j.ijrefrig.2005.08.003.

KALTEH, A. M.; HJORTH, P.; BERNDTSSON, R.. Review of the Self-Organizing Map (SOM) Approach in Water Resources : Analysis , Modelling and Application. **Environmental Modelling & Software**, v.23, n.835–845, 2008. doi:10.1016/j.envsoft.2007.10.001.

KIANG, Melody Y.; KULKARNI, Uday R.; TAM, Kar Y. Self-Organizing Map Network as an Interactive Clustering Tool - An Application to Group Technology. **Decision Support System**, v.15, p.351–374, 1995.

KLASSEN, Túlio; MARTINS, Tiago Dias; FILHO, Lucio Cardozo; DA SILVA, Edson Antonio. Modelagem do Sistema de Resfriamento por Imersão de Carcaças de Frangos Utilizando Redes Neurais Artificiais. **Acta Scientiarum Technology**, v.31, n.2, p.201–205, 2009. doi:10.4025/actascitechnol.v31i2.3358.

KOHONEN, Teuvo. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. **Biol. Cybern**, v.43, p.59–69, 1982.

KOHONEN, Teuvo. The Self-Organizing Map. **Neurocomputing**, v.21, p.1–6, 1998.

KOHONEN, Teuvo. Essentials of the Self-Organizing Map. **Neural Networks**, v.37, p.52–65, 2013. doi:10.1016/j.neunet.2012.09.018.

LAI, Yoke W.; KEMSLEY, E. Katherine; WILSON, Reginald H. Potential of Fourier Transform Infrared Spectroscopy for the Authentication of Vegetable Oils. **J. Agric. Food Chem.**, v.42, p.1154–1159, 1994.

LINK, Jade Varaschim; LEMES, André Luis Guimarães; MARQUETTI, Izabele; SCHOLZ, Maria Brígida dos Santos; BONA, Evandro. Geographical and genotypic segmentation of arabica coffee using self-organizing maps. **Food Research International**, v.59, p.1-7, 2014. doi:10.1016/j.foodres.2014.01.063.

MARTINS, Tiago Dias; KLASSEN, Túlio; CANEVESI, Rafael Luan Sehn; BARELLA, Rodrigo Augusto; CARDOZO FILHO, Lucio; SILVA, Edson Antonio da. Modeling the Water Uptake by Chicken Carcasses during Cooling by Immersion. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.31, n.3, p.571–576, 2011.

MELSSSEN, Willem; WEHRENS, Ron; BUYDENS, Lutgarde. Supervised Kohonen Networks for Classification Problems. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v.83, p.99–113, 2006. doi:10.1016/j.chemolab.2006.02.003.

NORTHCUTT, J. K.; JONES, D. R.. A Survey of Water Use and Common Industry Practices in Commercial Broiler Processing Facilities. **Journal Appl. Poult. Res.**, v.13, p.48–54, 2004.

O'FARRELL, M.; LEWIS, E.; FLANAGAN, C.; LYONS, W. B.; JACKMAN, N.. Combining Principal Component Analysis with an Artificial Neural Network to Perform Online Quality Assessment of Food as It Cooks in a Large-Scale Industrial Oven. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v.107, n.1, p.104–112, (May) 2005. doi:10.1016/j.snb.2004.09.050.

PETRACCI, M.; BIANCHI, M.; CAVANI, C.. Pre-Slaughter Handling and Slaughtering Factors in Fencing Poultry Product Quality. **World's Poultry Science Journal**, v.66, p.17–26, 2010. doi:10.1017/S0043933910000024.

SANCHEZ, Jorge Leonardo; ENGEL, Maristela; BONA, Evandro. Comportamento do Processo Industrial de Pré-Resfriamento de Carcaças de Frango por Imersão em Água e Gelo. **In: V Simpósio de Tecnologia e Engenharia de Alimentos, SIMTEA. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná - UTFPR, Campo Mourão, 2013.**

SAVELL, J. W.; MUELLER, S. L.; BAIRD, B. E. The Chilling of Carcasses. **Meat Science**, v.70, p.449–459, 2005. doi:10.1016/j.meatsci.2004.06.027.

SEMIL (2013). **Equipamentos Industriais**. 2013.
Disponível em: < <http://www.semil.com.br>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

THOMSON, J. E.; COX, N. A.; WHITEHEAD, W. K.; MERCURI, A. J.; JUVEN, B. J. Bacterial Counts and Weight Changes of Broiler Carcasses Chilled Commercially by Water Immersion and Air-Blast. **Poultry Science**, v.54, p.1452–1460, 1975.

VESANTO, Juha. SOM-Based Data Visualization Methods. **Intelligent Data Analysis**, v.3, p.111 – 126, 1999.

UBABEF (2013). **União Brasileira de Avicultura - UBABEF**. Estatísticas. Disponível em: <<http://www.ubabef.com.br/>>. Acesso em: 05 ago. 2013.

WOLD, Svante; ESBENSEN, Kim; GELADI, Paul. Principal Component Analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems** v.2, n.1-3, p.37–52, 1987.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470013192.bsa501/full>.

YOUNG, L. L.; SMITH, D. P. Moisture Retention by Water- and Air-Chilled Chicken Broilers during Processing and Cutup Operations. **Poultry Science**, v.83, n.1, p.119–122, (January) 2004. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14761093>.

APÊNDICE

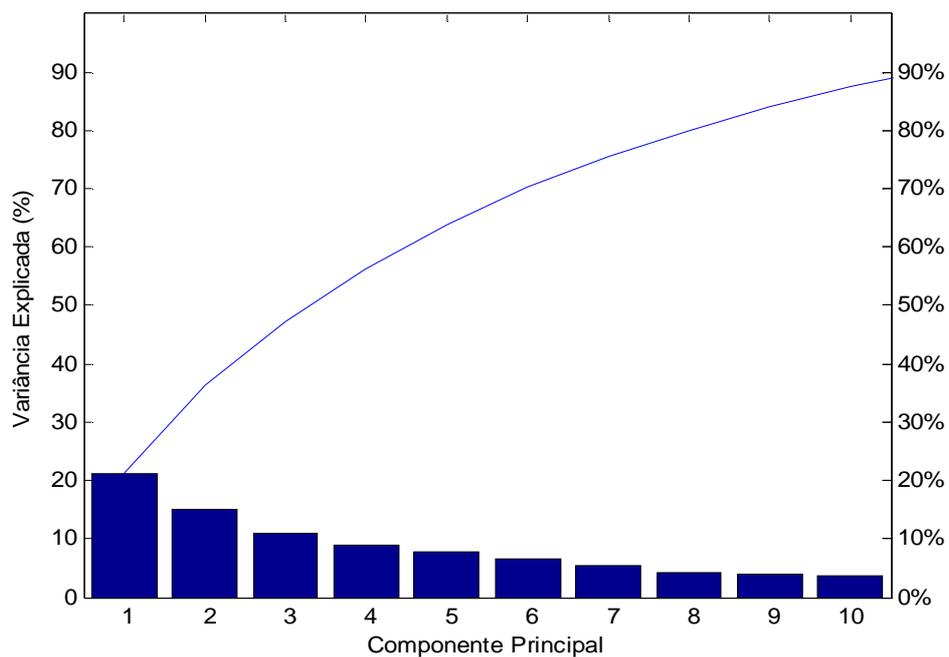


Figura A1 – Variância explicada e acumulada (%) das Componentes principais.

Variância Total: 47.12%

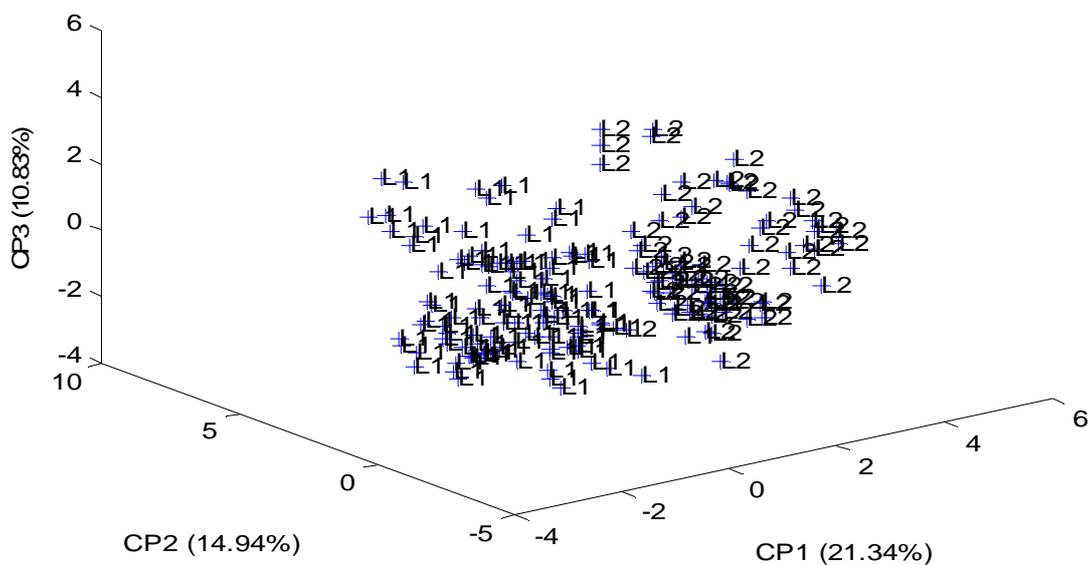


Figura A2 – Componente 1 (CP1), Componente 2 (CP2) e Componente 3 (CP3) das variáveis estudadas.

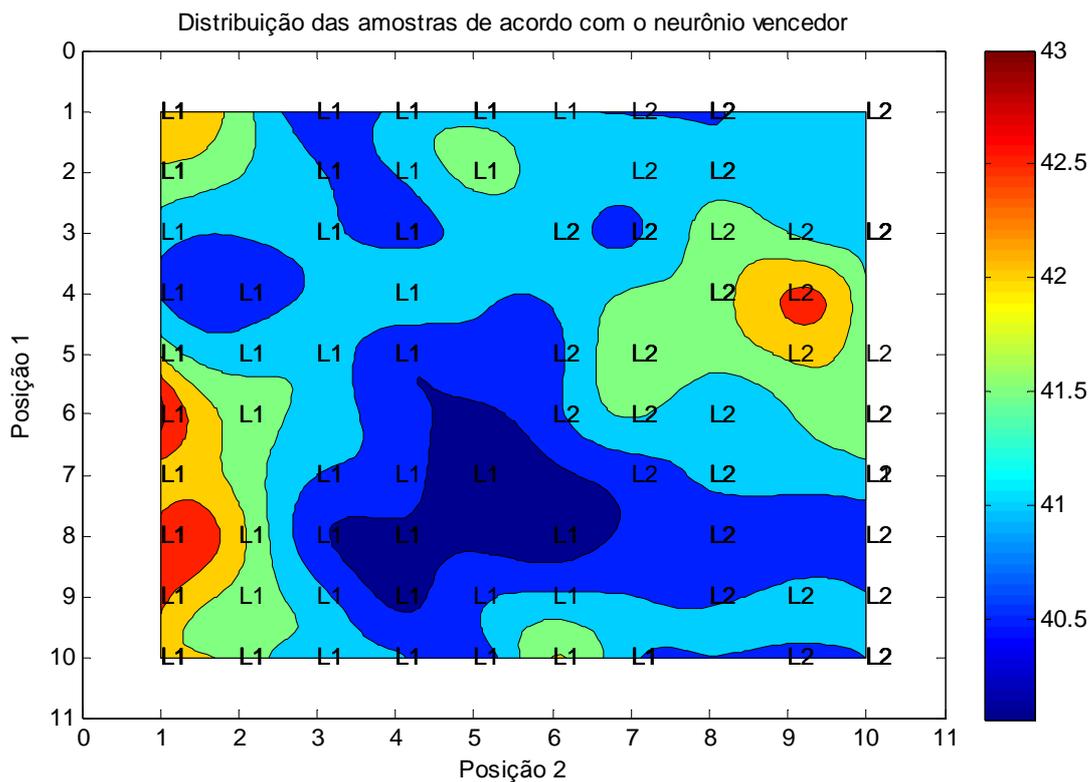


Figura A3 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura inicial da carcaça. Na escala de cores as unidades são $^{\circ}\text{C}$.

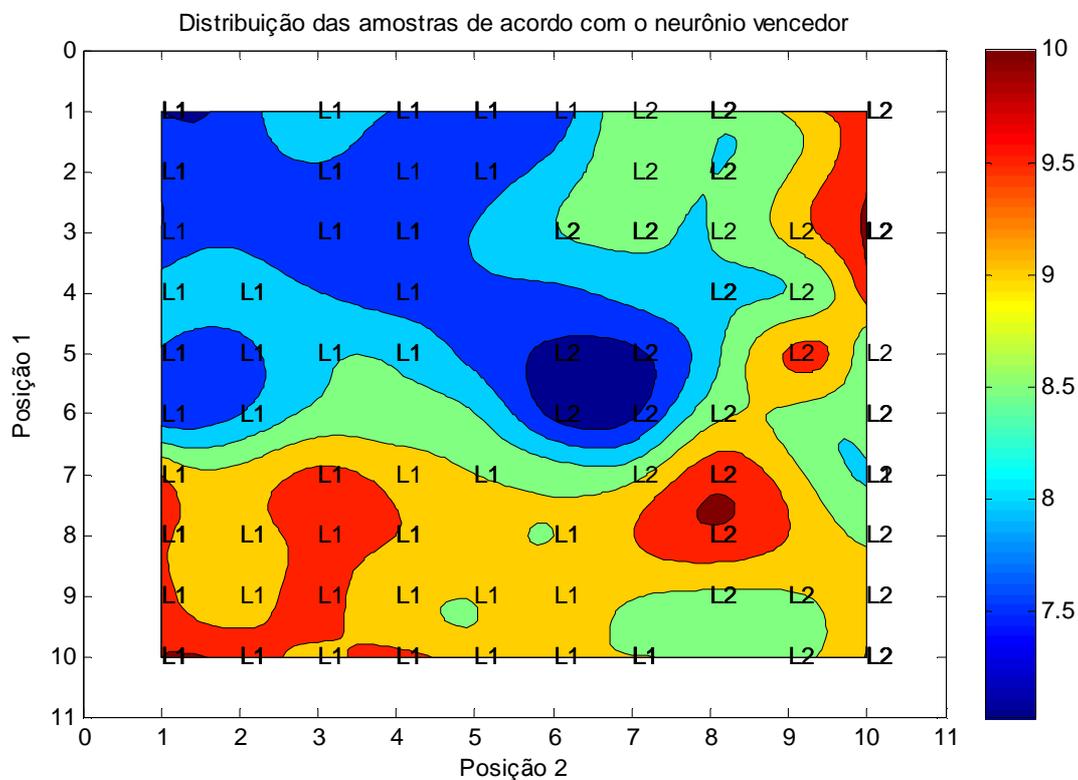


Figura A4 - Mapas de pesos e topológico para a variável temperatura da sala de resfriamento. Na escala de cores as unidades são $^{\circ}\text{C}$.

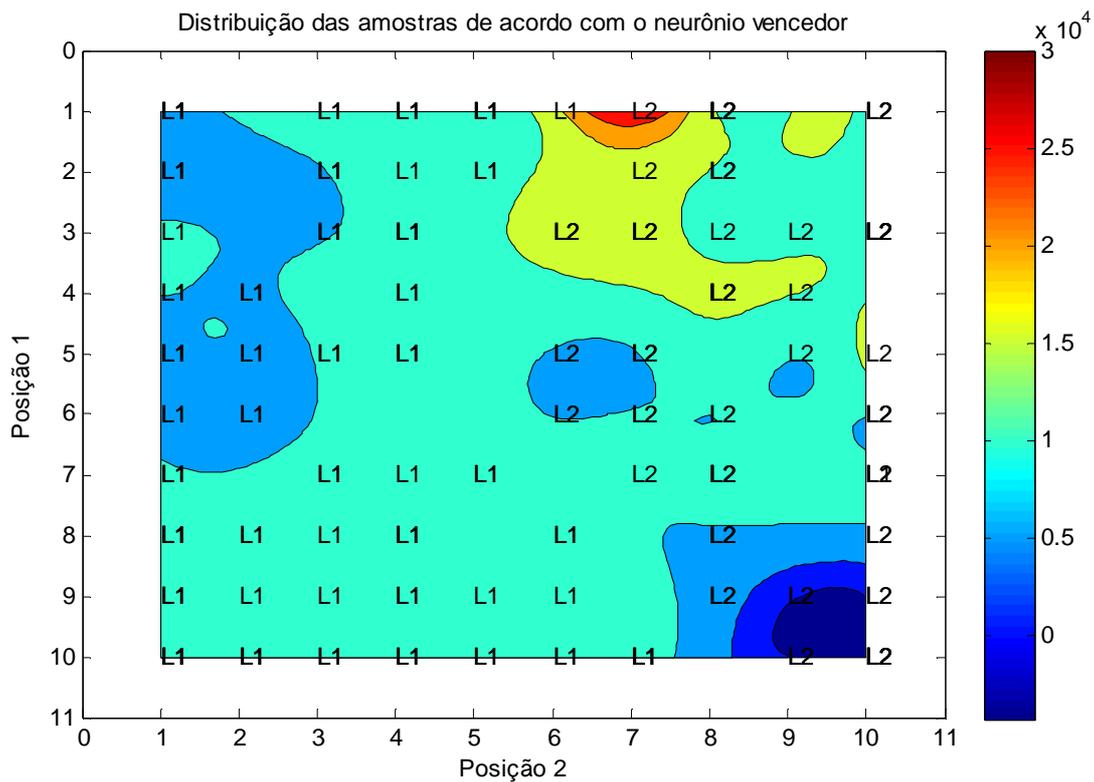


Figura A5 - Mapas de pesos e topológico para a variável vazão de água do *Pré-Chiller*. Na escala de cores as unidades são litros/hora.

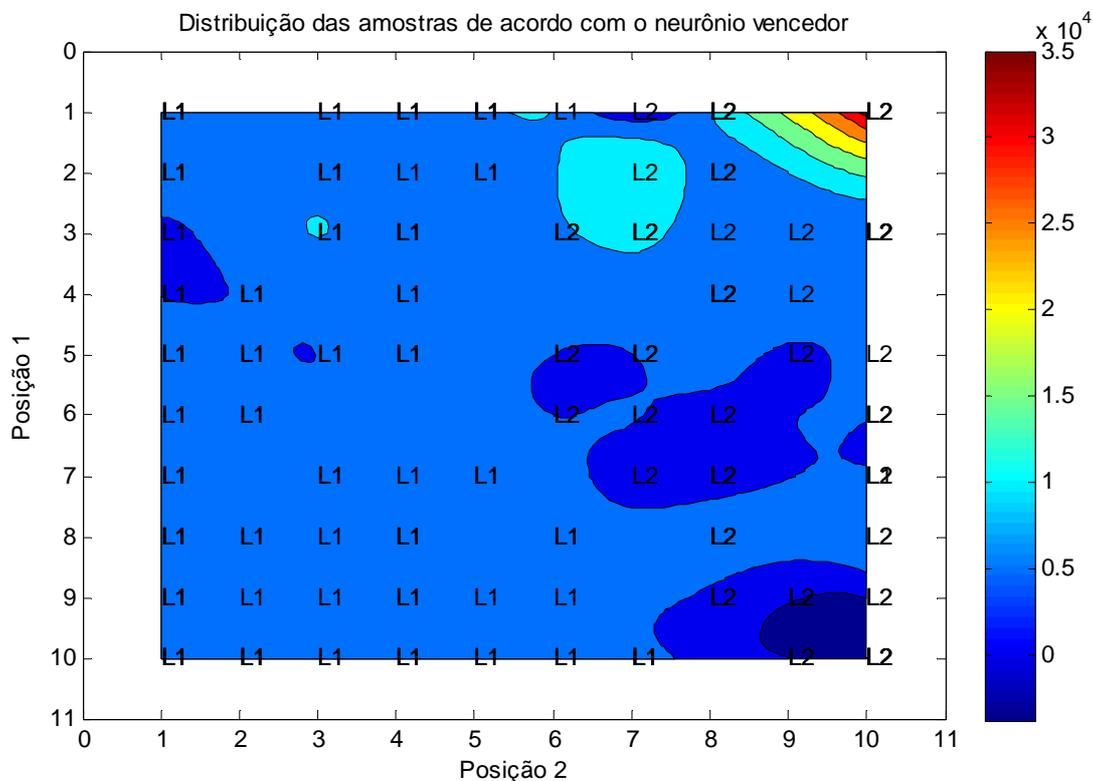


Figura A6 - Mapas de pesos e topológico para a variável vazão de água do *Chiller 01*. Na escala de cores as unidades são litros/hora.

Tabela A1 – ANOVA do modelo de regressão da cinética de resfriamento da Linha 01.

Fonte de variação	SQ ^a	GL ^b	MQ ^c	F calculado	F tabelado	p-valor
Regressão	33,2768	1	33,2768	503,7256	4,098	<0,0000
Resíduos	2,5103	38	0,0661			
Total	35,7871	39				
R²	0,9280					

^a = soma de quadrados; ^b = graus de liberdade; ^c = quadrados médios.

Tabela A2 – ANOVA do modelo de regressão da cinética de resfriamento da Linha 02.

Fonte de variação	SQ ^a	GL ^b	MQ ^c	F calculado	F tabelado	p-valor
Regressão	102,4930	1	102,4930	2136,8503	3,9010	<0,0000
Resíduos	7,5784	158	0,0480			
Total	110,0714	159				
R²	0,9307					

^a = soma de quadrados; ^b = graus de liberdade; ^c = quadrados médios.