

Congresso
Internacional da
Agroindústria
10 e 11 de junho



Inovação,
Gestão e
Sustentabilidade
na Agroindústria

COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NA ETAPA DE RESFRIAMENTO DE UMA LINHA DE PROCESSAMENTO DE ABATE DE FRANGOS

COMPORTAMIENTO DE VARIABLES CRÍTICAS EN LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO DE UNA LÍNEA DE PROCESAMIENTO DE MATANZA DE POLLOS

BEHAVIOR OF CRITICAL VARIABLES IN THE COOLING STAGE OF A POULTRY SLAUGHTER PROCESSING LINE

Luciano Bertollo Ruscioelli¹; Joel Camilo de Souza Carneiro²; José Ivo Ribeiro Júnior³; Consuelo Domenici Roberto⁴

DOI :<https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0209>

RESUMO

No processamento industrial de abate dos frangos, o teor de absorção de água das carcaças de frango durante o resfriamento no *chiller* representa um dos requisitos que define o padrão de qualidade do frango resfriado ou congelado. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência de variáveis críticas do processo sobre o teor de absorção de água por meio do monitoramento em tempo real. Os dados coletados foram analisados empregando procedimentos de estatística descritiva, testes inferenciais (teste t de *Student* e qui-quadrado), histograma, regressão linear múltipla e análise dos coeficientes de correlação. De acordo com os resultados obtidos, identificou-se que o teor de absorção de água das carcaças apresentou elevada variabilidade (coeficiente de variação de 35%, média de 5% e desvio-padrão maior que 1%), sendo que 10% das carcaças apresentaram valores superiores ao limite de especificação de 8%, determinado pela legislação brasileira. Além disso, verificou-se ausência de correlação satisfatória entre as variáveis críticas e a variável-resposta, indicando que não foi possível estabelecer as causas da elevada variabilidade do teor de absorção de água nas carcaças de frango. Concluiu-se que a etapa de resfriamento do processo industrial de abate dos frangos estava operando de forma instável e não padronizada. Além disso, foi de 10% o número de carcaças de frangos com teor de absorção de água acima de 8% e, portanto, que não atendem ao padrão de qualidade estabelecido pela legislação. Para promover a redução da variabilidade e, conseqüentemente, a melhoria do processo, recomendam-se o ajuste operacional e a padronização do processo.

Palavras-Chave: Teor de Absorção de Água, Carcaças de Frango, Procedimentos Estatísticos, Variabilidade, Padrão de Qualidade.

RESUMEN

En el procesamiento industrial de sacrificio de pollos, el contenido de absorción de agua de las canales de pollo durante el enfriamiento en el enfriador representa uno de los requisitos que definen el estándar de calidad del pollo refrigerado o congelado. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue verificar la influencia de las variables críticas del proceso en el contenido de absorción de agua a través del monitoreo en tiempo real. Los datos recolectados se analizaron mediante procedimientos de estadística descriptiva, pruebas inferenciales (prueba t de Student y chi-cuadrado), histograma, regresión lineal

¹ Engenharia de Alimentos, Instituto Federal Baiano, luciano.bertollo@ifbaiano.edu.br

² Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Espírito Santo, carneirojoel@hotmail.com

³ Estatística, Universidade Federal de Viçosa, jivo@ufv.br

⁴ Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Espírito Santo, domeniciconsuelo@gmail.com

múltiple y análisis de coeficientes de correlación. De acuerdo a los resultados obtenidos, se identificó que el contenido de absorción de agua de las canales presentó alta variabilidad (coeficiente de variación del 35%, promedio del 5% y desviación estándar mayor al 1%), con un 10% de las canales presentados valores por encima del límite de especificación del 8%, determinado por la legislación brasileña. Además, no hubo correlación satisfactoria entre las variables críticas y la variable respuesta, lo que indica que no fue posible establecer las causas de la alta variabilidad en el contenido de absorción de agua en las canales de pollo. Se concluyó que la etapa de enfriamiento del proceso de sacrificio industrial operaba de manera inestable y no estandarizada. Además, el número de canales de pollo con un contenido de absorción de agua superior al 8% fue del 10% y por lo tanto no cumplen con el estándar de calidad establecido por la legislación. Para promover la reducción de la variabilidad y, en consecuencia, la mejora del proceso, se recomienda el ajuste operacional y la estandarización del proceso.

Palabras Clave: Contenido de absorción de agua, canales de pollo, procedimientos estadísticos, variabilidad, estándar de calidad.

ABSTRACT

In industrial poultry slaughter processing, the water absorption content of poultry carcasses during cooling in the chiller represents one of the requirements that define the quality standard of chilled or frozen poultry. In this context, the objective of this work was to verify the influence of critical variables of the process on the water absorption content through real-time monitoring. The collected data were analyzed using descriptive statistics procedures, inferential tests (Student's t-test and chi-square), histogram, multiple linear regression and analysis of correlation coefficients. According to the results obtained, it was identified that the water absorption content of the carcasses showed high variability (variation coefficient of 35%, average of 5% and standard deviation greater than 1%), with 10% of the carcasses presented values above the specification limit of 8%, determined by Brazilian legislation. In addition, there was no satisfactory correlation between the critical variables and the response variable, indicating that it was not possible to establish the causes of the high variability in the water absorption content in poultry carcasses. It was concluded that the cooling step of the industrial slaughtering process was operating in an unstable and non-standard way. In addition, the number of poultry carcasses with a water absorption content above 8% was 10% and therefore do not meet the quality standard established by legislation. To promote the reduction of variability and, consequently, the improvement of the process, operational adjustment and standardization of the process are recommended.

Keywords: Water Absorption Content, Poultry Carcasses, Statistical Procedures, Variability, Quality Standard.

INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial avícola brasileiro é um dos mais organizados em relação à produção de frangos de corte, o que contribui para que o Brasil seja o maior exportador e o terceiro maior produtor mundial de carne de frango (ABPA, 2021). Em geral, no processamento industrial de abate dos frangos, são realizadas as etapas de recepção, insensibilização, abate, sangria, escaldagem, depenagem, evisceração, lavagem, resfriamento, gotejamento e congelamento. O resfriamento é uma etapa crítica para a conservação da qualidade das carcaças, sendo realizada a redução da sua temperatura inicial de, aproximadamente, 38 °C para 4 °C. Assim, é garantida a obtenção de um produto seguro do ponto de vista microbiológico e a manutenção da qualidade do produto final. No Brasil, o método de resfriamento mais empregado é a imersão em água em resfriadores contínuos tipo rosca sem fim, denominado

chiller (CARCIOFI e LAURINDO, 2007).

Durante o resfriamento por imersão, a água penetra através da pele das aves, ocorrendo absorção de água pela carcaça e, conseqüentemente, reposição da umidade perdida durante as etapas anteriores do abate (MASTROGIACOMO, 2006). O teor de água absorvida pela carcaça de frango no Brasil é regulamentado pela Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) até limite máximo de 8% em relação à massa inicial da carcaça (BRASIL, 1998). Portanto, é necessário o monitoramento dessa variável no processo, pelo fato de influenciar a qualidade, o rendimento e o valor econômico da carne e por ser um requisito utilizado para avaliar os padrões de qualidade do produto pelos órgãos fiscalizadores.

Os procedimentos estatísticos podem ser utilizados como ferramentas para avaliar o comportamento de variáveis críticas de um processo e fornecer resultados que contribuam com ações de melhorias e no atendimento das exigências em relação à qualidade e especificações dos produtos. Uma forma de manter a qualidade no processo é garantir que as suas etapas sejam estáveis e replicáveis. Neste caso, o processo deve ser capaz de operar com pequena variabilidade em torno de um valor-alvo, previamente estabelecido, que descreve as características de qualidade exigida para o produto sem ultrapassar os valores de especificação (RIBEIRO JÚNIOR, 2013).

Alcançar as especificações de qualidade por meio de tais procedimentos pode ser um diferencial para a obtenção da melhoria e do controle das etapas de abate de aves. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar e analisar as variações do teor de absorção de água das carcaças de frango e das variáveis críticas do processo, monitoradas em tempo real, durante a etapa de resfriamento do processo de abate, por meio da aplicação de procedimentos estatísticos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Etapas da linha de abate dos frangos

O ramo industrial da cadeia avícola é representado pelos abatedouros-frigoríficos (DORR e MARQUES, 2004). De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA, consiste no estabelecimento dotado de instalações completas e equipamentos adequados para o abate, manipulação, elaboração, preparo e conservação das espécies de açogue sob variadas formas, com aproveitamento completo, racional e perfeito, de subprodutos não comestíveis, que possua instalações de frio industrial (BRASIL, 1952).

COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NA ETAPA DE RESFRIAMENTO DE UMA LINHA

As etapas do processo de abate estão descritas a seguir de acordo com a Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do MAPA (BRASIL, 1998) e Gomide, Ramos e Fontes (2006).

Em geral, o processo inicia no recebimento de aves vivas, provenientes das granjas, transportadas em gaiolas plásticas até os abatedouros-frigoríficos. Depois de penduradas, as aves são insensibilizadas, por razões humanitárias, de qualidade e de segurança, sendo uma exigência da legislação brasileira. A ausência desta etapa só é permitida para atendimento de preceitos religiosos exigidos por um mercado específico. A insensibilização, geralmente, ocorre pelo método de eletronarose, no qual as aves são imersas em um tanque com água onde é aplicada uma corrente elétrica.

Após a insensibilização, segue-se para o abate do frango na operação de sangria. O processo provoca a imediata efusão de sangue. As aves são sangradas por meio do corte das artérias carótidas e veias jugulares, logo abaixo do bico. O sangramento deve ser completo para evitar que as aves recuperem a consciência ao entrarem, posteriormente, no tanque de escaldagem, o que pode resultar na redução da eficiência das etapas subsequentes. O local onde ocorre a sangria é uma área própria e exclusiva, denominada “área de sangria”, completamente impermeabilizada em suas paredes, piso e teto, por exigência de normas brasileiras.

A escaldagem, realizada após a sangria, consiste no aquecimento úmido da carcaça visando o aumento da densidade das penas e da área de fricção. Também provoca a abertura dos folículos da pele onde estão afixadas as penas, facilitando assim a etapa seguinte de depenagem. O processo de escaldagem pode ser por imersão ou a vapor, sendo o primeiro o método mais comumente empregado nas unidades de abate no Brasil.

A depenagem é realizada imediatamente após a escaldagem e consiste na retirada das penas, sem lesionar o tecido cutâneo. As depenadeiras são túneis de aço inoxidável, com tambores rotativos em toda a sua extensão, providos de hastes de borracha flexíveis, que removem as penas por fricção. São ajustadas de acordo com o tamanho das aves para evitar quebra das asas e rompimento da pele. As penas removidas são coletadas em canaletas e enviadas por tubulações até a seção de subprodutos para fabricação de farinha de penas.

Após esta etapa, ocorre um transpasse das aves para a seção de evisceração. Este transpasse consiste na última etapa realizada na chamada “zona suja” do abate. Antes da evisceração, as carcaças são lavadas. Em seguida, entram na “área limpa” do abate, onde será procedida a evisceração.

A etapa de evisceração é um dos principais pontos críticos da cadeia produtiva do frango, pois durante a mesma poderá ocorrer o rompimento das vísceras e da vesícula biliar com exposição de material fecal e da bÍlis. Este fato pode acarretar em condenação parcial ou

total da carcaça, devido à possibilidade de contaminação microbiológica.

A evisceração compreende: corte da pele do pescoço e liberação da traqueia; extração da cloaca; abertura do abdômen; exposição das vísceras (eventração); inspeção sanitária; remoção dos miúdos e vísceras (primeiro separa-se o coração, o fígado e a moela); extração dos pulmões; toilette (retirada do papo, esôfago e traqueia); lavagem final (interna e externa).

As vísceras não comestíveis são lançadas diretamente na calha de evisceração e são conduzidas aos depósitos coletores ou diretamente para a seção de subprodutos (graxaria) por meio de lâmina d'água de fluxo contínuo. As vísceras comestíveis (coração, fígado e moela) são processadas em seção exclusiva, sendo pré-resfriadas imediatamente após serem removidas. O pré-resfriamento dos miúdos é realizado por imersão em resfriadores contínuos, tipo rosca sem fim, com temperatura máxima da água de 4 °C e renovação constante de água, no sentido contrário ao movimento destes.

Ainda na seção de evisceração, as carcaças são novamente lavadas interna e externamente por jatos de água. Assim, é possível remover sangue coagulado, membranas e resíduos de vísceras remanescentes, e em seguida seguem para a etapa de pré-resfriamento.

O pré-resfriamento é uma etapa crítica para a conservação das carcaças, sendo realizada a redução da temperatura inicial de aproximadamente 38 °C para 4 °C. Assim, garante-se a obtenção de um produto seguro do ponto de vista microbiológico e a manutenção da qualidade das carcaças de frango.

Durante o pré-resfriamento por imersão, a água penetra através da pele das aves, ocorrendo absorção de água pela carcaça e, conseqüentemente, reposição do percentual de umidade perdido durante as etapas anteriores do abate. O teor de água absorvida pela carcaça de frango é regularizado pela Portaria N° 210, de 10 de Novembro de 1998, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) até o limite máximo de 8% em relação à massa inicial da carcaça.

Após a operação de pré-resfriamento, as carcaças seguem para o gotejamento, que consiste na etapa para eliminação do excesso de água absorvido pela carcaça na etapa de pré-resfriamento de forma a atender ao limite estabelecido pela legislação.

Ao final do gotejamento, as carcaças de frango são classificadas, submetidas aos cortes, embaladas, congeladas e armazenadas em câmaras frigoríficas até o momento da expedição.

Pré-resfriamento dos frangos

De acordo com a Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do MAPA, pré-resfriamento é o processo de abaixamento da temperatura das carcaças de aves imediatamente após as etapas de evisceração e lavagem. Devido a importantes questões relacionadas com a

qualidade da carne e a maximização da segurança dos alimentos, a etapa de pré-resfriamento é obrigatória e determinada por legislação (BRASIL, 1998).

O pré-resfriamento das carcaças durante o processo de abate se faz importante porque abrange aspectos técnicos e de segurança. Nesta etapa, inicialmente, as carcaças de frango se encontram numa temperatura próxima de 38 °C e devem ser rapidamente resfriadas a fim de reduzir as alterações microbiológicas e químicas, responsáveis pela deterioração da carne (OWENS et al., 2010).

A temperatura *post mortem* é um fator crítico para a obtenção da qualidade da carne e de segurança microbiológica, sendo absolutamente necessário iniciar a redução da temperatura da carcaça tão logo possível após a morte da ave (MASTROGIACOMO, 2006).

Para o pré-resfriamento de carcaças de frango, o método por imersão em tanques contínuos com água gelada é o mais comum, sendo o mais adotado pelos frigoríficos brasileiros (LAURINDO et al., 2010). É realizado em resfriadores lineares contínuos, tipo rosca sem fim, denominados *chillers*. Trata-se de tanques metálicos de comprimento variável, providos de tambores rotativos ou rosca sem fim, preenchidos com água gelada (ou água e gelo), e dispostos em série na linha de abate. As carcaças são submetidas ao pré-resfriamento, sendo mantidas imersas sob constante agitação por um tempo variável em cada *chiller* (OWENS et al., 2010).

De acordo com a legislação, o pré-resfriamento por imersão é basicamente efetuado em dois estágios. O primeiro estágio é realizado no pré-chiller, em que a temperatura da água varia de 10 a 15 °C, não podendo ser superior a 16 °C (medida no início do tanque, no local de entrada das carcaças). O tempo em que a carcaça permanece no pré-chiller varia de 10 a 30 minutos, não podendo ser superior a 30 minutos. O segundo estágio é realizado no chiller, em que a temperatura da água varia entre 0 a 2 °C, não podendo ser superior a 4 °C. No final do processo de pré-resfriamento, a temperatura das carcaças podem variar entre 5 e 8 °C, sendo o ideal entre 2 e 4 °C. A Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do MAPA, estipula 7 °C como a temperatura máxima para as carcaças que serão comercializadas sob refrigeração e 10 °C para aquelas destinadas ao congelamento imediato (BRASIL, 1998).

Além do monitoramento e manutenção do parâmetro temperatura, deve-se realizar a renovação constante de água nos *chillers*. Essa deve ser constante e introduzida no sentido contracorrente, sendo recomendado o consumo de 1,5 litros por carcaça no primeiro estágio (pré-chiller) e no segundo estágio (*chiller*) um consumo que varia entre 1,0 e 2,0 litros de água gelada, de acordo com a massa das carcaças (BRASIL, 1998). Com relação a água utilizada no pré-resfriamento, ela não pode ser recirculada e deve apresentar os padrões de potabilidade estabelecidos pelo RIISPOA (BRASIL, 1952).

Pelo fato de ocorrer perdas de água da carcaça durante as etapas de transporte e abate, é permitido que a absorção de água pela carcaça até 8% da massa inicial, sendo este valor estabelecido pelo MAPA por meio da Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 (BRASIL, 1998). Dessa forma, esta etapa também tem grande importância econômica para os frigoríficos abatedouros.

Assim, diversos trabalhos são desenvolvidos com o objetivo de verificar, modelar e/ou identificar os fatores e variáveis mais impactantes nesta etapa do processo de abate, como pode ser observado nos estudos de Brizio, Fagundes e Prentice (2012), Martins et al. (2011), Reche, Rui e Carmo (2011) e Klassen et al. (2009).

O sistema de controle da absorção de água em carcaças de aves submetidas ao pré-resfriamento por imersão deve ser eficiente e efetivo, sem margem a qualquer prejuízo na qualidade do produto final. Os métodos oficiais para o referido controle são o Método de Controle Interno e o Método do Gotejamento, realizados durante o processo industrial pela Inspeção Federal, para controle da absorção de água em carcaças congeladas de aves submetidas ao pré-resfriamento por imersão (BRASIL, 1998).

Dentro da indústria, o valor da absorção é obtido medindo-se a massa da ave na entrada e logo após a saída do sistema de chillers. A diferença positiva averiguada na massa da carcaça entre a saída e a entrada é calculada e indicada de pela porcentagem sobre o valor da massa na entrada do chiller. A quantidade de água determinada por este método exprime-se em porcentagem da massa total da carcaça de ave no limite máximo de 8% da sua massa (BRASIL, 1998).

A água absorvida durante o pré-resfriamento por imersão está diretamente relacionada com a temperatura da água dos resfriadores (*chillers*), tempo de permanência no sistema, tipo de corte abdominal, injeção de ar no sistema (borbulhamento) e outros fatores (BRASIL, 1998).

Para a indústria, a identificação das principais variáveis que afetam a absorção de água pelas carcaças durante o pré-resfriamento se faz importante pelo fato de poder proporcionar melhorias significativas no controle do processo (MARTINS et al., 2011).

Embora os estabelecimentos industriais tenham a intenção de fabricar produtos com a especificação exigida, isso nem sempre acontece devido à existência da variabilidade nos processos produtivos. Dois itens de um mesmo produto não são exatamente iguais, mesmo sendo do mesmo tipo, da mesma marca e do mesmo lote. Isso acontece devido à variabilidade que não pode ser eliminada, porém, pode ser conhecida e controlada (VIEIRA, 2012).

Um produto ou serviço de qualidade que atenda às exigências do cliente deve ser produzido por meio de um processo estável ou replicável. Neste contexto, o processo deve ser

capaz de operar com pequena variabilidade em torno das dimensões alvo ou nominais das características de qualidade do produto ou serviço. Para tanto, o controle permanente dos processos é condição básica para a manutenção da qualidade de bens e de serviços (COSTA, EPPRECHT e CARPINETTI, 2010). Para este propósito, pode ser empregado procedimentos estatísticos para verificação da estabilidade do processo e posterior melhoria da qualidade por meio da redução da variabilidade (MONTGOMERY, 2012).

No setor de produtos cárneos, o crescimento da demanda mundial por carne de frango foi acompanhado pelo aumento da preocupação dos consumidores em buscar uma alimentação voltada para aspectos de qualidade e segurança. Em consequência do aumento das exigências, do conhecimento dos consumidores e do desenvolvimento apresentado pelo setor no cenário nacional, estes produtos tornaram uma opção favorável de compra por serem ofertados com qualidade e serem mais atrativos ao consumidor (DORR e MARQUES, 2004; BUENO et al., 2007; RUI, ANGRIMANI E SILVA, 2011)

METODOLOGIA

Para o monitoramento das variáveis em tempo real e durante a etapa de resfriamento foram coletados dados de quatro carcaças de frango por dia, durante um mês de coleta, o que totalizou 80 unidades amostrais. Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis críticas do processo e a variável-resposta definidas com base nos estudos realizados por Carciofi e Laurindo (2007), Klassen et al. (2009) e Martins et al. (2011).

Inicialmente, os valores do teor de absorção de água das carcaças de frango foram submetidos à estatística descritiva, conforme realizado por Pease, Caten e Ribeiro (2001), Srikaeo e Hourigan (2002) e Diehl, Souza e Domingos (2007). Para a comparação com os parâmetros especificados pela definido pela Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do MAPA (BRASIL, 1998), foram aplicados os testes t de *Student* e qui-quadrado para a média e desvio-padrão, respectivamente. Como suporte para a visualização da distribuição dos dados coletados, foram construídos os histogramas, sendo a frequência da ocorrência de determinada faixa dos dados, analisada conforme Srikaeo, Furst e Ashton (2005) e Reche, Rui e Camargo (2011).

Tabela 01: Variáveis de entrada e variável-resposta envolvidas na coleta de dados.

Variáveis Críticas do Processo	Unidade
Massa inicial da carcaça (Mi)	[g]
Temperatura 1 (entrada) do pré-chiller (T1pc)	[°C]
Temperatura 2 (saída) do pré-chiller (T2pc)	[°C]
Tempo de retenção da carcaça no pré-chiller (RETpc)	[min]
Vazão da água de reposição no pré-chiller (VAZpc)	[m ³ /min]
Borbulhamento no pré-chiller (BORBpc)	[adimensional]
Temperatura 1 (entrada) no chiller (T1c)	[°C]
Temperatura 2 (interior) no chiller (T2c)	[°C]
Temperatura 3 (interior) no chiller (T3c)	[°C]
Temperatura 4 (saída) no chiller (T4c)	[°C]
Tempo de retenção da carcaça no chiller (RETc)	[min]
Vazão da água de reposição no chiller (VAZc)	[m ³ /min]
Borbulhamento no chiller (BORBc)	[adimensional]
Tempo de gotejamento da carcaça (GOT)	[min]
Tempo de espera das carcaças após o gotejamento (ESP)	[min]
Quantidade de gelo adicionado durante o pré-resfriamento (GELO)	[kg]
Variável-resposta	Unidade
Teor de absorção de água das carcaças de frango (ABS)	%

Fonte: Própria (2021).

Para a realização dos testes inferenciais, se fez necessário a definição do limite de especificação para os valores do teor de absorção de água das carcaças de frango. Para a definição, considerou-se que ± 3 desvios-padrão ao redor da média seria a faixa adequada para garantir a mínima qualidade do produto. Segundo Montgomery (2012), para uma distribuição de probabilidades normal como modelo para uma característica da qualidade, com os limites em ± 3 desvios-padrão, a probabilidade de se produzir um produto fora das especificações é de 0,0027, o que corresponde a 2.700 partes defeituosas por milhão (ppm) de unidades ou 99,73%. Com relação à definição do limite superior de especificação (LSE), considerou-se o valor de 8%, definido pela Portaria N° 210, de 10 de novembro de 1998 do MAPA.

Assim, as hipóteses de nulidade dos testes t de *Student* para a média e do qui quadrado para o desvio-padrão, foram definidas, respectivamente, por $H_0: \mu = 5\%$; $H_0: \sigma = 1\%$.

Para a verificação da relação entre as 16 variáveis críticas, (Tabela 1) com o teor de absorção, foi realizada uma regressão linear múltipla, conforme Reche, Rui e Camargo (2011). Para proceder ao ajuste do modelo de regressão, introduziu-se o conjunto de dados das 80 observações das variáveis críticas do processo e da variável-resposta. O modelo de regressão com as variáveis envolvidas é representado pela Equação 1.

Equação 1: $ABS = \beta_0 + \beta_1 Mi + \beta_2 T1pc + \beta_3 T2pc + \beta_4 RETpc + \beta_5 VAZpc + \beta_6 BORBpc + \beta_7 T1c + \beta_8 T2c + \beta_9 T3c + \beta_{10} T4c + \beta_{11} RETc + \beta_{12} VAZc + \beta_{13} BORBc + \beta_{14} GOT + \beta_{15} ESP + \beta_{16} GELO + \varepsilon$.

Onde: ABS = Teor de absorção de água da carcaça de frango; Mi = Massa inicial da carcaça; T1pc = Temperatura da água na entrada do pré-chiller; T2pc = Temperatura da água na saída do pré-chiller; RETpc = Tempo de retenção da carcaça no pré-chiller; VAZpc = Vazão de reposição de água no pré-chiller; BORBpc = Intensidade do borbulhamento da água no pré-chiller; T1c = Temperatura da água na entrada do chiller; T2c = Temperatura da água no primeiro ponto intermediário do chiller; T3c = Temperatura da água no segundo ponto intermediário do chiller; T4c = Temperatura da água na saída do chiller; RETc = Tempo de retenção da carcaça no chiller; VAZc = Vazão de reposição de água no chiller; BORBc = Intensidade do borbulhamento da água no chiller; GOT = Tempo de gotejamento da carcaça; ESP = Tempo de espera da carcaça após o gotejamento; GELO = Massa de gelo adicionado durante o pré-resfriamento; ε = Erro aleatório $\sim N(0, \sigma^2)$.

Para a obtenção de um modelo de regressão com melhor ajuste, procedeu-se o procedimento de exclusão de variáveis (*stepwise*) a partir da análise da estatística t das variáveis, conforme realizado por Li (2004) e Reche, Rui e Camargo (2011). Com este procedimento, todas as variáveis inicialmente presentes no modelo (Equação 1) foram sendo retiradas uma a uma, em função da contribuição significativa dada pela análise da significância da estatística t. O emprego desse procedimento possibilitou eliminar as variáveis não significativas, que corresponderam àquelas que apresentam o menor valor da estatística t, em valor absoluto, por se tratar das variáveis de menor importância (HAIR Jr et al., 2009).

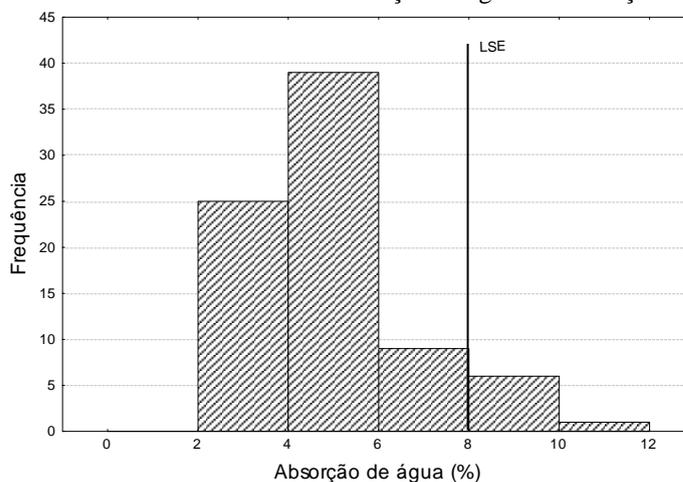
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados da estatística descritiva, observou-se que os teores de absorção de água estavam compreendidos entre 2,34 e 10,84%, com amplitude total de 8,50. A média amostral foi de 5,03% com desvio-padrão de 1,80% e coeficiente de variação de 35,80%. A partir dessas estimativas, considerou-se, inicialmente, que a variável de estudo apresentou variabilidade aparentemente elevada.

De acordo com o teste t de *Student*, a média do teor de absorção de água das carcaças foi igual a 5% ($p > 0,05$). Entretanto, com a aplicação do teste qui-quadrado, concluiu-se que o desvio-padrão foi maior que 1,0% ($p < 0,05$). Isso significa que existem amostras de frango com teor de absorção de água superior ao LSE.

Na Figura 1, é apresentado o histograma dos dados do teor da absorção de água pelas carcaças.

Figura 01: Estimativas dos teores de absorção de água das carcaças de frango.



Fonte: Própria (2021).

Verificou-se que os teores de absorção de água pelas carcaças ocorreram, com maior frequência, entre 4 e 6% (Figura 1). Entretanto, 10% das carcaças de frango apresentaram teores de absorção de água superiores ao LSE de 8%, especificado pela legislação brasileira. De acordo com os resultados da análise descritiva, principalmente para o elevado coeficiente de variação (35,80%), juntamente com os testes inferenciais e o histograma construído, confirmou-se a elevada variabilidade e, por consequência, a ocorrência de teores de absorção de água que ultrapassaram o limite imposto pela legislação.

Quando a elevada variabilidade de um processo é reduzida, este se torna capaz de produzir unidades com maior padronização e de alcançar as especificações de qualidade com maior êxito. Assim, é possível promover melhorias de qualidade do produto em relação à característica de qualidade avaliada por meio da redução da variabilidade entre as unidades produzidas. Portanto, a falta de padronização de um produto ou serviço é resultado da elevada variabilidade das variáveis operacionais do processo (RUTHES, CERETTA E SONZA, 2006).

Lemos et al. (2019) buscaram promover melhorias de qualidade e confiabilidade no processo de abate de suínos por meio da implantação de APPCC integrado ao controle estatístico de processo. Através dos procedimentos estatísticos, os autores verificaram elevada variabilidade nas variáveis do processo temperatura das câmaras refrigeração e temperatura das carcaças suínas.

De acordo com o ajuste do modelo de regressão apresentado na Equação 1 empregando

COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS CRÍTICAS NA ETAPA DE RESFRIAMENTO DE UMA LINHA

o procedimento de exclusão de variáveis (*stepwise*) por meio da análise da estatística t das variáveis, obteve-se a equação de regressão, apresentada na Equação 2.

$$\text{Equação 2: } (ABS) = 3,1885 + 0,0799*RET_{pc} - 0,2138*ESP, R^2 = 0,16.$$

Onde: ABS = Teor de absorção de água da carcaça de frango; RETPC = Tempo de retenção da carcaça no pré-chiller; ESP = Tempo de espera da carcaça após o gotejamento. * Significativo pelo teste t de *Student* ($p < 0,05$).

Verificou-se que o teor de absorção de água da carcaça de frango (ABS) foi influenciado ($p < 0,05$) pelo tempo de retenção da carcaça no pré-chiller (RETpc) e pelo tempo de espera da carcaça após gotejamento (ESP). De acordo com o modelo obtido (Equação 2), o ABS aumenta em função do aumento do RETpc e diminui em função do aumento do ESP. Assim, para cada aumento de 1 minuto no RETpc, ocorre um aumento de, aproximadamente, 0,08% no teor de absorção de água e, para cada aumento de 1 minuto no ESP, ocorre uma redução de, aproximadamente, 0,21%.

No entanto, de acordo com a equação de regressão ajustada (Equação 2), observou-se que as duas variáveis críticas significativas apresentaram pouca relação com a variável-resposta ($R^2 = 0,16$). A estimativa do coeficiente de correlação entre o teor de absorção e o tempo de retenção no pré-chiller foi de 0,33. Já o da absorção com o tempo de espera após gotejamento foi de -0,26.

A baixa correlação entre as variáveis críticas estudadas com a variável-resposta, juntamente com o baixo coeficiente de determinação obtido na equação de regressão ajustada, também foi diagnosticada no estudo de Carciofi e Laurindo (2007). Os autores relataram elevada variabilidade de variáveis relacionadas ao *chiller*, durante a etapa de resfriamento de um abatedouro-frigorífico industrial. A ausência de correlação entre as variáveis críticas do processo com as variáveis-reposta também foi observada no processo industrial de produção de biscoito a base de trigo de acordo com o estudo desenvolvido por Srikaeo, Furst e Ashton (2005). Segundo esses autores, a ausência de correlação foi devido às más condições operacionais da indústria.

Além disso, a dificuldade em se trabalhar com um grande número de variáveis independentes, agindo ao mesmo tempo no ambiente operacional, conforme mencionado por Klassen (2008), deve ser levada em consideração, devido à interferência que uma pode provocar na outra.

Apesar da expectativa de que as variáveis críticas (Tabela 1) interfiram no teor de

absorção de água das carcaças de frango, não foi possível conhecer, satisfatoriamente, as causas da variação do teor de absorção de água para esta linha de abate de frangos. O acompanhamento do fluxograma do processo durante o desenvolvimento deste trabalho sugere que os resultados encontrados podem estar associados também a erros operacionais, no que diz respeito ao ajuste das variáveis do processo, aos procedimentos operacionais e às instruções de trabalho adotadas pela empresa na execução das etapas na linha de abate, promovendo a falta de padronização no processo e provocando a elevada variabilidade dos dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se elevada variabilidade do teor de absorção de água das carcaças de frango e ausência de correlação satisfatória com as variáveis críticas da etapa de resfriamento das carcaças de frango. Os resultados obtidos podem ser atribuídos à alta instabilidade do processo, devido à falta de ajuste operacional e padronização. Para promover a redução da variabilidade e, conseqüentemente, melhoria do processo, recomenda-se o ajuste operacional e a padronização do processo. Conclui-se também que com os procedimentos estatísticos adotados foi possível realizar um diagnóstico da estabilidade e correção das variáveis do processo.

REFERÊNCIAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2021**. Disponível em:<http://abpa-br.org/wp-content/uploads/2021/04/ABPA_Relatorio_Anual_2021_web.pdf>. Acesso em: 29 abr 2021.

BRASIL. Decreto nº 30691 de 9 de março de 1952. **Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal (RIISPOA)**. Divisão de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA), Secretaria da Defesa Agropecuária (SDA), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Brasília, 1952.

BRASIL. Portaria n. 210, de 10 de Novembro de 1998. **Regulamento técnico da inspeção tecnológica e higiênico-sanitária da carne de aves**. Divisão de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA), Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Brasília, 1998.

BRIZIO, A. P. R.; FAGUNDES, G. A.; PRENTICE, C. Avaliação quantitativa do teor de água contido em cortes congelados de frango. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 3, n. 1, p. 69-71, 2012.

BUENO, M. P.; ARAÚJO, G. C.; SPROESSER, R. L.; BUENO, V. P. Gestão da qualidade na indústria exportadora de abate e frigorificação de frangos em mato grosso do sul. **Anais do XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2007.

CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Water uptake by poultry carcasses during cooling by

water immersion. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 444-450, 2007.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas S. A. 2010.

DIEHL, C. A.; SOUZA, M. A.; DOMINGOS, L. E. C. O uso da estatística descritiva na pesquisa em custos: análise do XIV congresso brasileiro de custos. **Contexto**, v. 7, n. 12, p. 1-24, 2007.

DORR, A. C.; MARQUES, P. V. Respostas às exigências do consumidor europeu. **Avicultura Industrial**, v. 95, n. 3, p. 50-52, 2004.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Tecnologia de Abate e Tipificação de Carcaças**. Viçosa: Editora UFV. 2006.

HAIR JR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. (6th ed.). Porto Alegre: Bookman, 2009.

KLASSEN, T. Uso de redes neurais artificiais para modelagem da temperatura e da retenção de água no processo de resfriamento de carcaças de frango por imersão. Toledo, 2008. 69 p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, 2008.

KLASSEN, T.; MARTINS, T. D.; CARDOZO FILHO, L.; SILVA, E. A. Modelagem do sistema de resfriamento por imersão de carcaças de frango utilizando redes neurais artificiais. **Acta Scientiarum Technology**, v. 31, n. 2, p. 201-205, 2009.

LAURINDO, J. B.; CARCIOFI, B. A. M.; SILVA, R. R.; DANNENHAUER, C. E.; HENSE, H. Evaluation of the effects of water agitation by air injection and water recirculation on the heat transfer coefficients in immersion cooling. **Journal of Food Engineering**, v. 96, p. 59-65, 2010.

LEMO, G. M.; PINHEIRO, E. M.; SOUSA, A. A.; ASSUNÇÃO, A. K. S.; GONÇALVES, R. S.; SOUSA, T. Y. O.; VIEIRA, A. C. S. Implantação do sistema appcc integrado ao controle estatístico de processo no abatedouro industrial Agrolusa - São Luís/MA. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 20, n. 2, p. 143-156, 2018

LI, X. A simulation evaluation of backward elimination and stepwise variable selection in regression analysis. Manhattan, 2012. 81 p. **Dissertação** (Master of Science) – Department of Statistics – College of Arts and Sciences – Kansas State University, 2012.

LUNET, N.; SEVERO, M.; BARROS, H. Desvio Padrão ou Erro Padrão. **Arquivos de medicina**, v. 20(1/2), p. 55-59, 2006.

MARTINS, T. D.; KLASSEN, T.; CANEVESI, R. L. S.; BARELLA, R. A.; CARDOZO FILHO, L.; SILVA, E. A. Modeling the water uptake by chicken carcasses during cooling by immersion. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 571-576, 2011.

MARTINS, T. D.; KLASSEN, T.; CANEVESI, R. L. S.; BARELLA, R. A.; CARDOZO FILHO, L.; SILVA, E. A. Modeling the water uptake by chicken carcasses during cooling by

immersion. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 571-576, 2011.

MASTROGIACOMO, V. Pré-resfriamento. In: **O Mundo do Frango** – Cadeira produtiva da carne de frango. Eds.: OLIVO, R. Criciúma: Rubison Olivo, 2006.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. (4th ed.). Rio de Janeiro: LTC, 2012

OWENS, C. M.; ALVARADO, C. Z.; SAMS, A. R. **Poultry meat processing**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press. 2010.

RECHE, R. A.; RUI, C.; CAMARGO, M. E. Absorção de água em carcaças de frango: um estudo sobre os fatores determinantes e a capacidade do processo. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 2011, Belo Horizonte - MG **Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2011.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Métodos estatísticos aplicados ao controle de qualidade**. Viçosa: Editora UFV, 2013.

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

RUTHES, S.; CERETTA, P. S.; SONZA, I. B. Seis sigma: melhoria da qualidade através da redução da variabilidade. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 2, p. 173-190, 2006.

SRIKAEAO, K.; FURST, J. E.; ASHTON, J. Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques. **Food Control**, v. 16, p. 309-317, 2005.

SRIKAEAO, K.; HOURIGAN, J. A. The use of statistical process control (SPC) to enhance the validation of critical control points (CCPs) in shell egg washing. **Food Control**, v. 13, p. 263-273, 2002.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.