

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

**ESTRATÉGIA INDUSTRIAL PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE RETENÇÃO
DE CORTES SUÍNOS EM TÚNEL DE CONGELAMENTO CONTÍNUO**

SILMARA ZANDONAI

Erechim, Dezembro de 2021.

SILMARA ZANDONAI

**ESTRATÉGIA INDUSTRIAL PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE RETENÇÃO
DE CORTES SUÍNOS EM TÚNEL DE CONGELAMENTO CONTÍNUO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Orientadoras: Prof^ª. Dr^ª. Juliana Steffens
Prof^ª. Dr^ª. Geciane T. Backes

Erechim, Dezembro de 2021.

SILMARA ZANDONAI

**ESTRATÉGIA INDUSTRIAL PARA REDUÇÃO DO TEMPO DE RETENÇÃO
DE CORTES SUÍNOS EM TÚNEL DE CONGELAMENTO CONTÍNUO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Erechim, Dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Juliana Steffens, D.Sc.
(URI – Erechim)

Prof^ª. Geciane Toniazzo Backes, D.Sc.
(URI – Erechim)

Prof^ª. Clarissa Dalla Rosa, D.Sc.
(UFFS – Erechim)

Prof^ª. Clarice Steffens, D.Sc.
(URI – Erechim)

Z27e Zandonai, Silmara

Estratégia industrial para redução do tempo de retenção de cortes suínos em túnel de congelamento contínuo / Silmara Zandonai. – 2022.
69 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2022.

“Orientação: Prof^a Dra Juliana Steffens, Prof^a Dra Geciane T. Backes”

1. Carne suína 2. Embalagens 3. Congelamento contínuo I. Título

C.D.U.: 664

Catálogo na fonte: bibliotecária Sandra Milbrath CRB 10/1278

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde, sabedoria para alcançar meus objetivos.

Às professoras Dr^a. Juliana Steffens e Dr^a Geciane T. Backes, por toda compreensão e auxílio para realização deste trabalho, vocês são maravilhosas.

Às professoras e Dr^a. Clarice Steffens, Dr^a. Clarissa Dalla Rosa por todas as sugestões para conclusão deste trabalho.

À empresa em que possibilitou a realização deste trabalho, em especial ao Sr. Dalmir Alves, por permitir que conciliasse as atividades do mestrado com minhas atividades profissionais, assim como, todo auxílio nesta caminhada.

Aos demais colegas da unidade em especial aos supervisores Vilmar Vrubleski e Joe-mar Varotto, aos encarregados Edson Rossetti e Ricardo Pivetta e ao colega e amigo Gerson Júnior Chillemi, por todo apoio e auxílio na realização dos experimentos.

Aos colegas da turma do mestrado que me auxiliaram nos trabalhos e provas, em especial a Carina C. Tomalok.

Aos meus pais Silmar Zandonai e Aldenir M. Zandonai, por todo auxílio e incentivo aos estudos, agradeço imensamente, pois nunca mediram esforços para garantir a minha formação.

Ao meu irmão Rafael Zandonai, que me auxiliou em diversos momentos.

Ao Alisson Eduardo Richetti, por todo companheirismo nestes anos de união e amor.

RESUMO

O congelamento dos produtos cárneos é uma das etapas com maior custo para indústria frigorífica, desta forma, as empresas constantemente estão buscando estratégias para reduzir as perdas e otimizar os processos. O presente estudo teve como objetivo avaliar estratégias industriais para redução do tempo de retenção de cortes suínos em túnel de congelamento contínuo, visando minimizar o reprocesso de produtos. Inicialmente foi avaliada a influência do uso de embalagem secundária de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD de 10 mm de espessura) e da alteração no método de abastecimento de horizontal para vertical no congelamento de pernil suíno. Com a implantação do trabalho foi possível a redução de 3,5 h no tempo de retenção de pernil suíno para atendimento da temperatura crítica de congelamento -18°C , conforme regulamentação para itens exportação, o que impactou na redução de 0,5% no percentual de reprocesso. O tempo de retenção de barriga suína acondicionada em caixas de papelão com montagem manual (475 mm de comprimento, 245 mm de largura, 205 mm de altura e 9 mm de espessura) e automática (515 mm de comprimento, 240 mm de largura, 205 mm de altura e 3 mm de espessura) posicionadas em diferentes níveis de congelamento também foi avaliado. Com o uso de caixa de papelão com montagem automática, foi possível a redução de 45 minutos e de 2 h no tempo necessário para atendimento da temperatura crítica de congelamento de barriga suína, quando posicionadas nos níveis de congelamento 05 e 23, respectivamente. Também foi avaliada a variação de temperatura ambiente entre os níveis de congelamento, utilizando a ferramenta de controle estatístico de processo. A variação de temperatura é ocasionada pelo processo de degelo, onde verificou-se a necessidade de monitorar o funcionamento dos ventiladores. Um dos ventiladores estava danificado, sendo substituído e instalado um sensor para identificar falhas no sistema de ventilação. Com estas adequações, foi possível obter uma melhora na uniformidade da temperatura entre os níveis de congelamento, representando uma redução da diferença de temperatura máxima obtida entre os níveis de $9,4^{\circ}\text{C}$ para apenas $2,4^{\circ}\text{C}$. Outra estratégia estudada foi o uso de grampos plásticos para unir as caixas, os quais possibilitaram a otimização de 395 posições de congelamento por dia, além de reduzir os espaços vazios nas bandejas, bem como a presença de caminhos preferenciais para o fluxo de ar. Com este trabalho foi possível promover melhorias no sistema de congelamento de cortes suínos para o atendimento da temperatura crítica para produtos destinados à exportação e redução do percentual de reprocesso dos produtos.

Palavras Chave: Embalagens. Pernel suíno. Barriga suína. Reprocesso.

ABSTRACT

The freezing of meat products is one of the most expensive steps for the meatpacking industry, so companies are constantly looking for strategies to reduce losses and optimize processes. The present study aimed to evaluate industrial strategies to reduce the retention time of pork cuts in a continuous freezing tunnel, aiming to minimize the reprocessing of products. Initially, the influence of the use of secondary packaging of Low Density Polyethylene (LDPE 10 mm thick) and the change in the supply method from horizontal to vertical in the freezing of pork shank was evaluated. With the implementation of the work, it was possible to reduce the retention time of pork shank by 3.5 h to meet the critical freezing temperature -18°C, according to regulations for export, which impacted a 0.5% reduction in the percentage of reprocess. The retention time of pork belly packed in cardboard boxes with manual assembly (475 mm long, 245 mm wide, 205 mm high and 9 mm thick) and automatic (515 mm long, 240 mm wide, 205 mm high and 3 mm thick) positioned at different freezing levels was also evaluated. With the use of a cardboard box with automatic assembly, it was possible to reduce 45 minutes and 2 h in the time required to meet the critical temperature for freezing pork belly, when positioned at freezing levels 05 and 23, respectively. The ambient temperature variation between freezing levels was also evaluated, using the statistical process control tool. The temperature variation is caused by the defrosting process, where there was a need to monitor the operation of the fans. One of the fans was damaged, being replaced and a sensor installed to identify failures in the ventilation system. With these adjustments, it was possible to obtain an improvement in the temperature uniformity between the freezing levels, representing a reduction in the maximum temperature difference obtained between the levels from 9.4°C to only 2.4°C. Another strategy studied was the use of plastic clips to join the boxes, which allowed the optimization of 395 freezing positions per day, in addition to reducing empty spaces in the trays, as well as the presence of preferential paths for air flow. With this work, it was possible to promote improvements in the freezing system of pork cuts to meet the critical temperature for products destined for export and reduce the percentage of reprocessing of products.

Keywords: Packaging. Pork shank. Pork belly. Reprocess.

LISTA DE TABELAS E SIGLAS

Tabela 1: Composição centesimal e conteúdo de colesterol e das principais vitaminas e minerais presentes nos principais cortes de carne suína.....	15
Tabela 2: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento durante o procedimento de degelo nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31.....	50
Tabela 3: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento desconsiderando o procedimento de degelo nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31.	51
Tabela 4: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento durante nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28 após a implantação das ações de melhorias...55	55
Tabela 5: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento durante nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28 após a implantação das ações de melhorias desconsiderando o degelo.....	56
Tabela 6: Valores das constantes para cálculo dos limites de controle.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva típica do congelamento de alimentos, onde A- S: Período de Super-resfriamento. B- C: Congelamento. C- D: Cristalização dos solutos. D- E: Cristalização de água e soluto. E – F: Temperatura de armazenamento. Tf: Tempo total.....	19
Figura 2: Aspecto visual dos cortes pernil suíno (a) e barriga suína (b).....	29
Figura 3: Esquema do acondicionamento dos produtos, pernil suíno (a) e barriga suína (b) nas caixas de papelão.....	31
Figura 4: Representação esquemática de abastecimento do túnel de congelamento contínuo com bandejas dos produtos.....	32
Figura 5: Diagrama esquemático do abastecimento das bandejas com os produtos, dentro do túnel de congelamento.....	33
Figura 6: Aspecto visual do acondicionamento de barriga suína em caixa de papelão com montagem automática (a) e barriga suína acondicionada em caixa de papelão com montagem manual (b).....	36
Figura 7: Diagrama esquemático com demonstração dos níveis do túnel de congelamento. .	36
Figura 8: Curva de congelamento de pernil suíno embalado em embalagem individual e individual + pacote único disposto no túnel em local de menor troca térmica.	38
Figura 9: Curva de congelamento de pernil suíno embalado em embalagem individual e individual + pacote único disposto no túnel com movimentação no nível.....	40
Figura 10: Curva de congelamento de pernil suíno embalado em pacotes individuais e em caixas de papelão com abastecimento vertical e horizontal.	43
Figura 11: Perfil de congelamento de barriga suína acondicionada em caixa de papelão ondulado com montagem manual e automática no nível 05.	46
Figura 12: Curva de congelamento de barriga suína acondicionada em caixa de papelão ondulado com montagem manual e automática no nível 23.	47
Figura 13: Curva de congelamento de barriga suína acondicionada em caixa de papelão ondulado com montagem automática nos níveis 05 e 23.	48
Figura 14: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, durante as 54 h.	49
Figura 15: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento desconsiderando o degelo nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, durante o período de 32 a 54 h.	50
Figura 16: Média (\bar{X}) e amplitude (R) da temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, considerando o processo de degelo.	52

Figura 17: Sensor utilizado para identificar e emitir sinal luminoso para detecção de falhas no sistema de ventilação.	53
Figura 18: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28, durante 54 h, após a implementação das ações de melhorias.	54
Figura 19: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28, durante 54 h, após a implementação das ações de melhorias, desconsiderando o degelo.	55
Figura 20: Média (\bar{X}) e amplitude (R) da temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, sem o processo de degelo.	57
Figura 21: Vista dos grampos plásticos utilizados para unir duas caixas de papelão.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCS	Associação Brasileira dos Criadores de Suínos
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
ANVISA	Agência de Vigilância Sanitária
CEAP	Centro de Assessoria e Pesquisa de Mercado
CEP	Controle Estatístico do Processo
CV	Cavalo-Vapor
EUA	Estados Unidos da América
ISO	Organização Internacional de Padronização (do inglês - <i>International</i>

Organization for Standardization)

Kg	Quilograma
LC	Limite de Controle
LCI	Limite de Controle Inferior
LCS	Limite de Controle Superior
M	Amostra
N	Tamanho da Amostra
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PSA	Peste Suína Africana
R	Dispersão
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RPM	Rotações por minuto
Tf	Tempo Total
UE	União Européia
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (do inglês - <i>United</i>

States Department of Agriculture)

V	Volts
X	Localização
\bar{x}	Média Geral do Processo
σ	Desvio Padrão das Médias Amostrais
σ_x	Desvio Padrão das Médias Amostrais

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	OBJETIVOS.....	13
2.1.	Objetivo Geral.....	13
2.2.	Objetivos específicos.....	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1.	Cenário da produção e comercialização da carne suína.....	14
3.2.	Composição da carne suína.....	15
3.3.	Refrigeração e congelamento de carne suína.....	16
3.4.	Sistemas de congelamento.....	20
3.5.	Sistemas de degelo.....	21
3.6.	Influência da embalagem no congelamento de cortes suínos.....	22
3.7.	Modificações e danos que podem ser causados pelo frio.....	24
3.8.	Controle estatístico de processo.....	25
3.8.1.	Cartas de controle.....	26
3.8.1.1.	Cartas de controle \bar{x} - R.....	26
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1.	Definição de produtos e embalagens avaliados.....	29
4.2.	Procedimento de carregamento dos produtos no túnel de congelamento contínuo.....	31
4.3.	Influência dos métodos de congelamento no túnel contínuo.....	34
4.3.2.	Método de abastecimento das caixas de pernil suíno no congelamento.....	35
4.3.3.	Tempo de retenção de barriga suína acondicionada em caixas com diferentes dimensões e em diferentes níveis de congelamento.....	35
4.4.	Espaços vazios nas bandejas do túnel de congelamento.....	37
4.5.	Análise estatística.....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1.	Influência do uso de embalagem secundária no congelamento de pernil suíno.....	38
5.2.	Influência do método de abastecimento das caixas de pernil suíno no congelamento.....	43
5.3.	Tempo de retenção de barriga suína acondicionadas em caixas com diferentes dimensões e níveis de congelamento.....	46
5.4.	Diferenças na temperatura ambiente entre os níveis de congelamento.....	48

5.5.	Espaços vazios nas bandejas do túnel de congelamento	58
6.	CONCLUSÃO.....	59
7.	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	61

1. INTRODUÇÃO

A carne suína é a mais consumida no mundo, representando 40,4% de todo consumo de proteína animal (TRAVASSOS e COELHO, 2017). O Brasil vem se destacando na produção desta carne, onde em 2020 alcançou a quarta posição mundial (USDA, 2021). As exportações de cortes de carne suína também vêm aumentando, onde de janeiro a abril de 2021 alcançaram um patamar de 351,8 mil toneladas, representando um aumento de 25,3% em relação ao ano de 2020 no mesmo período, chegando a uma receita de US\$ 232,3 milhões segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021). Além disso, as vendas também têm se destacado no mercado interno, chegando a 17,65 quilos per capita de acordo com a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos (ABCS, 2021).

Em se tratando de carne suína para a exportação a mesma precisa ser congelada para manter as características químicas, organolépticas e nutritivas do produto mais próximas possível das características iniciais, além de dificultar a ação de microrganismos e enzimas (SOUTHGATE, 1992). Os cortes suínos mais exportados pelo Brasil são: pernil, paleta, barriga, costela, carré, lombo, sobre paleta e filezinho.

O congelamento é o método de preservação da carne em que as temperaturas baixas destroem alguns microrganismos e impedem o crescimento de outros, permitindo desta forma, a obtenção de um produto de alta qualidade, mesmo depois de um longo período de armazenamento. Este processo envolve gasto energético e tempo.

Para produtos de exportação como a carne suína, a temperatura recomendada para a armazenagem de produtos cárneos é de -18°C (BRASIL, 2004), pois nesta temperatura cerca de 85% da água do produto já está congelada, reduzindo o crescimento de microrganismos, a velocidade das reações químicas e enzimáticas (FREITAS e FIGUEIREDO, 2000).

De acordo com os dados que apontam o aumento das exportações (ABPA, 2021), os frigoríficos também tiveram que se adaptar frente a esta alta demanda, desde infraestrutura até mão de obra. Como o processo de congelamento é demorado, principalmente em peças de carne maiores, existe a necessidade de estudar maneiras de realizar o processo de forma mais rápida e eficiente de maneira que o produto final atinja a temperatura desejada no menor tempo possível.

Nos frigoríficos, o congelamento geralmente é realizado em túneis, com produtos já embalados para facilitar o manuseio e armazenamento. Os túneis de congelamento devem funcionar a uma temperatura de -35°C a -40°C conforme recomendado pela Portaria Nº 711,

de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995) e também devem garantir que durante o tempo de retenção os produtos atinjam a temperatura no centro térmico de -18°C (ASHRAE, 1998; EVANGELISTA, 1989; PARDI et al., 2001). Produtos que não atendem a temperatura crítica de -18°C , durante o tempo de retenção devem retornar ao processo (reprocesso), o que acaba interferindo no tempo e espaço útil no túnel, reduzindo a capacidade de congelamento, ocasionando aumentos desnecessários nos custos energéticos e podendo impactar na qualidade final do produto.

Neste sentido o presente trabalho apresenta um estudo de caso visando avaliar estratégias de redução do tempo de retenção de cortes suínos em túnel de congelamento contínuo, visando minimizar o reprocesso de produtos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar estratégias industriais para redução do tempo de retenção de cortes suínos (pernil e barriga) em túnel de congelamento contínuo, visando minimizar o reprocesso de produtos.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a temperatura de amostras de pernil suíno acondicionados em embalagem primária, secundária e terciária.
- Analisar a temperatura em relação a forma de abastecimento de produtos no túnel de congelamento com distribuição vertical e horizontal.
- Avaliar a temperatura de amostras de barriga suína posicionadas em diferentes níveis no túnel de congelamento contínuo.
- Avaliar a temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis.
- Aplicar o controle estatístico no processo para identificar a presença de problemas que podem prejudicar o congelamento dos produtos cárneos
- Reduzir espaços vazios nas bandejas do túnel de congelamento contínuo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cenário da produção e comercialização da carne suína

Uma pesquisa realizada pelo Centro de Assessoria e Pesquisa de Mercado (CEAP) mostrou que 98,5% dos lares brasileiros consomem algum tipo de proteína animal regularmente, sendo a mais consumida o ovo seguido pela carne de frango, da carne de suína, da carne bovina e de peixe (ABPA, 2021).

O Brasil vem se destacando na produção de carne suína onde em 2020 alcançou a quarta posição mundial (USDA, 2021). Em 2020, a China produziu 38% de toda produção de carne suína mundial, seguida da União Europeia (UE) e dos Estados Unidos (EUA) e do Brasil, com 4% de toda produção mundial.

Em 2017 cerca de 49% da produção de carne suína mundial era proveniente da China, no entanto, em 2018, a Peste Suína Africana (PSA) dizimou cerca de 60% do plantel do país, o que impactou em uma redução de 11% no volume de produção (SUINOCULTURA, 2021). Para abastecer o mercado, as importações de carne suínas para China aumentaram de 18% em 2017 para 45% em 2020. Este aumento nas importações impulsionou o aumento da produção de carne suína no Brasil.

A produção de carne suína no Brasil está aumentando gradativamente, em 2020, foi produzido 4,436 milhões de toneladas, sendo a maior quantidade dos últimos 10 anos, com aumento de 11% em relação a 2019. Do volume produzido, 77% foi direcionado para consumo no mercado interno e 23% para exportações (ABPA, 2021). Este aumento foi impulsionado pelo aumento do consumo per capita e nas exportações de carne suína.

Os cortes suínos representam 87,49% das exportações brasileiras, seguidos dos miúdos 9,13%. Do total de volume exportado, 78,99% do volume foi direcionado para Ásia, sendo o principal importador a China, seguido de Hong Kong e Singapura. Do volume exportado em 2020, 91,06% foi proveniente da Região Sul do Brasil, sendo que o estado de Santa Catarina representou 51,68% do volume total, seguido do Rio Grande do Sul com 25,79% e do Paraná com 13,59% (ABPA, 2021).

Além disso, as vendas de carne suína também têm se destacado no mercado interno, chegando a 17,65 quilos per capita no segundo semestre de 2021 (ABCS, 2021). Em 2020 o consumo per capita já havia atingido valor recorde de 16,9 kg per capita, impulsionado principalmente pelo aumento no custo da carne bovina.

De acordo com ABCS (2021), o aumento consistente e contínuo da produção de carne suína, é fruto de um árduo trabalho, focado principalmente no aumento da produtividade das

granjas, busca incansável pela qualidade da carne, apresentação dos cortes e benefícios do consumo de carne suína. Para garantir a qualidade e distribuição destes produtos é fundamental o uso de técnicas adequadas, dentre elas o congelamento.

3.2. Composição da carne suína

A carne é um dos principais alimentos na alimentação humana é uma fonte rica de nutrientes essenciais. É constituída a partir de cinco tipos de tecidos sendo estes: tecido muscular, tecido epitelial, adiposo, nervoso e tecido conjuntivo (GONÇALVES, 2002).

As carnes são compostas por aproximadamente 75% de água, 20% de proteína, 5% de lipídeos, 1% de hidratos de carbono e 1% de vitaminas e minerais (PEARCE et al., 2011; CUSTÓDIO, 2017).

A Tabela 1 apresenta a composição química dos principais cortes suínos.

Tabela 1: Composição centesimal e conteúdo de colesterol e das principais vitaminas e minerais presentes nos principais cortes de carne suína.

Nutriente	Corte ¹				
	Paleta	Pernil	Lombo	Filé mignon	Ponta da costela
Água (%)	72,63	72,90	73,62	76,00	59,75
Proteína (%)	19,55	20,48	21,99	20,95	15,47
Gordura (%)	7,14	5,41	3,71	2,17	23,4
Energia (cal/100g)	148	136	127	109	277
Colesterol (mg/100g)	67	68	69	65	80
Vitamina B1 - tiamina (mg/100g)	0,884	0,875	0,501	0,998	0,319
Vitamina B2 - riboflavina (mg/100g)	0,314	0,228	0,198	0,342	0,251
Niacina (mg/100g)	4,275	6,934	6,934	6,684	4,662
Vitamina B6 - piridoxina (mg/100g)	0,415	0,500	0,742	0,574	0,574
Vitamina B12 - (µg/100g)	0,84	0,71	0,50	0,51	0,38
P (mg/ 100 g)	202	229	220	247	141
K (mg/ 100 g)	341	269	362	399	242
Fe (mg/ 100 g)	1,22	1,01	0,65	0,98	0,91
Zn (mg/ 100 g)	3,14	2,27	1,86	1,89	2,5
Na (mg/ 100 g)	76	55	58	53	81

¹ Corte sem gordura, exceto para a ponta de costela.

Fonte: Adaptado de USDA– National Nutrient Database for Standard Reference (2018).

O principal componente da carne suína é a água, sendo que a carne fresca apresenta atividade de água em torno de 0,99 (VIEIRA, 2007). Cerca de 45% da água presente na carne

está fortemente ligada as proteínas, sendo que parte desta, é ligada durante a conversão do músculo em carne, cerca de 25% está fracamente ligada por forças físicas, podendo exsudar durante os processos tecnológicos, armazenamento e transporte (SHIMOKOMAKI, 2006). A água é um componente muito importante para a maciez, suculência, cor e sabor da carne (ORDÓÑEZ, 2005). A presença e a quantidade água interna interfere nas reações que ocorrem na carne durante a refrigeração, congelamento, armazenamento e processamento (PARDI et. al. 2001).

O segundo componente em maior quantidade são as proteínas. A carne é um alimento com proteínas com alto valor biológico, sendo classificadas como solúveis em água, solúveis em soluções salinas ou miofibrilares e as insolúveis em soluções salinas concentradas (SOUZA, 2014). São consideradas as principais responsáveis pelas características funcionais dos produtos cárneos. As proteínas representam cerca de 18 a 23% da composição do músculo, classificadas em sarcoplasmáticas, estroma e miofibrilares, sendo destas, as responsáveis pela contração muscular a actina e miosina (HUANG, 2013).

O terceiro componente em maior quantidade são as gorduras, estas fazem parte de um grupo chamado de lipídios. Os lipídios estão presentes nas carnes de forma intramuscular, intermuscular e subcutânea. São principalmente encontrados na forma de ésteres de gliceróis, colesterol, fosfolipídios e ésteres de ácidos graxos (GONÇALVES, 2002). As gorduras auxiliam na formação das emulsões, na aparência, textura e sabor dos produtos cárneos (SOUZA, 2014).

3.3. Refrigeração e congelamento de carne suína

A carne fresca é um dos alimentos mais perecíveis, principalmente por apresentar elevada atividade de água, pH próximo ao neutro e abundância de nutrientes em sua composição (FEITOSA, 1999). Por causa destas características intrínsecas, é um excelente meio de cultura para os microrganismos. Para retardar ou evitar alterações que possam inutilizar ou reduzir a qualidade dos alimentos são utilizados métodos de conservação. Estes métodos devem ser aplicados logo após o abate, iniciando com o resfriamento das carcaças e devem continuar durante o processamento, armazenamento, transporte até o armazenamento na casa do consumidor (ROÇA, 2000).

Após o abate a temperatura interna das carcaças varia entre 30 a 39°C, para remoção do calor sensível deve ser realizado o resfriamento das carcaças em câmaras de resfriamento, até que a temperatura na profundidade das massas musculares seja igual ou menor a 7°C, conforme estipulado pela Portaria nº 711 de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995).

Os principais métodos de resfriamento de carcaças são: o método usual, onde a temperatura da câmara é mantida em 0 a 4°C, onde que as carcaças suínas atingem a temperatura de 0°C em 24 h. Método rápido, consiste em um método em que a temperatura interna da câmara é mantida em -1 a 2°C, com umidade relativa de 85 – 90% e com velocidade de circulação do ar de 2 a 4m/s, neste método as carcaças suínas atingem temperatura menor ou igual a 4°C entre 12 a 16 h. Método super-rápido, as carcaças são mantidas por 2 h em antecâmaras com temperatura de -8 a -5°C, com umidade relativa de 90% e velocidade de circulação do ar de 0,1 m/s, após são transferidas para câmara de resfriamento com temperatura de 0°C, umidade relativa de 90% e velocidade do ar de 0,1 m/s, neste método as carcaças suínas atingem temperatura menor ou igual a 4°C entre 8 a 12 h (ROÇA, 2000). O resfriamento das carcaças deve ser realizado de forma que a temperatura das carcaças não fique inferior a 10°C antes de 10 h *post mortem*, ou até se estabelecer o *rigor mortis* (atingir o pH igual a 6,0), de forma a evitar encurtamento pelo frio das fibras musculares, o que impacta negativamente a maciez da carne.

Após o resfriamento, as carcaças são direcionadas para salas climatizadas com temperatura interna inferior a 16°C e superior a 10°C (quando o estabelecimento é habilitado para exportação para União Européia), destinadas exclusivamente para a desossa e esposteamento, conforme descrito pela Portaria nº 711 de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995), nesta sala os produtos devem permanecer pelo menor tempo possível, evitando que a temperatura interna dos produtos fique acima da temperatura de refrigeração.

Os produtos em que se espera maior vida útil são direcionados para o congelamento. Este processo tem o propósito de reduzir a temperatura do produto, até diminuir efetivamente as reações químicas e biológicas desencadeadas pelos microrganismos e enzimas, mantendo o mais próximo possível as características originais e ainda promovendo a extensão da vida útil dos alimentos (ASHRAE, 1998).

O crescimento populacional dos grandes centros urbanos, o aumento das exportações de alimentos, favoreceu a popularização deste método (SOUTHGATE, 1992).

Durante o congelamento a temperatura do alimento é reduzida até o ponto em que ocorre a mudança do estado líquido para o sólido da água livre presente no alimento, formando cristais de gelo (FELLOWS, 2006). Com a imobilização da água em forma de cristais de gelo, os solutos dissolvidos na fase líquida são concentrados, reduzindo a atividade de água do alimento de 0,99 chegando até 0,60 e como consequência prevenindo o crescimento de microrganismos e minimizando a velocidade das reações químicas e enzimáticas, promovendo aumento na vida útil do alimento (RAHMAN et al., 2009; VIEIRA, 2007).

De acordo com Ashrae (1989), o congelamento da carne suína fresca inicia na temperatura de $-2,2^{\circ}\text{C}$. Para carne magra, o congelamento a -5°C , permite que cerca de 74% da água esteja congelada, na temperatura de -15°C este percentual aumenta para 85% de água congelada. Mesmo na temperatura de -30°C , 12% da água ainda não está congelada (IIR, 2006). De acordo com Custódio, 2017, a temperatura de -40°C é ótima para o armazenamento da carne congelada, sendo que nesta temperatura apenas um percentual mínimo de água permanece disponível para o desenvolvimento de reações bioquímicas. O produto a -5°C pode ser considerado congelado, mas para que as características de qualidade sejam preservadas é necessário que a temperatura seja reduzida para até o valor próximo da temperatura de armazenamento nas câmaras de estocagem entre -18°C a -30°C (VIEIRA, 2007).

Para produtos cárneos destinados à exportação, a temperatura de armazenamento é de -18°C , sendo que abaixo de -10°C a maioria dos microrganismos não se desenvolve, parte é destruída e a velocidade das reações químicas e enzimáticas são reduzidas, auxiliando também na manutenção da coloração da carne (ASHRAE, 1998; BERTOL, 2019; EVANGELISTA, 1989; FREITAS e FIGUEIREDO, 2000; PARDI et al., 2001). Se o produto não atingir -18°C , durante o tempo de retenção, ocasionará redução da capacidade industrial e reprocesso.

Os principais fatores que podem influenciar no congelamento dos alimentos são as propriedades termo físicas como condutividade térmica, difusividade térmica, calor específico, entalpia e densidade, e fatores externos como coeficientes de transferência de calor, tipo de equipamento utilizado e a velocidade de congelamento (RAHMAN et al., 2009).

Durante o congelamento deve ser monitorado o tempo e a temperatura, gerando curvas de congelamento, que podem ser obtidas através de termopares e de sistema de aquisição de dados, onde a temperatura é medida no ponto central do alimento, em que a velocidade de congelamento é mais lenta (FELLOWS, 2006).

A Figura 1 apresenta a curva característica de congelamento, onde há a remoção de calor no centro térmico de um alimento. Na região de A até S mostra a etapa em que ocorre retirada do calor sensível ocasionando a redução da temperatura até o sub-resfriamento, neste ponto ainda não ocorreu a mudança de fase e a água ainda está em estado líquido (ZARITZKI, 2000). No ponto S representa o início da nucleação, quando os cristais de gelo começam a liberar o calor latente de solidificação, o que faz com que a temperatura aumente até o ponto B, em que ocorre o início do congelamento. No ponto B até o C, ocorre a remoção do calor latente e o aumento nos cristais de gelo, nesta região a temperatura não é constante e reduz gradativamente, conforme aumenta a concentração de sólidos solúveis. Nas etapas C – E continua a cristalização da água e dos solutos e na região de E até F continua a remoção do

calor sensível até que a temperatura do alimento se aproxime da temperatura do meio de resfriamento.

O tempo de congelamento t_f é o tempo total em que o centro geométrico do alimento leva para atingir a temperatura final de congelamento, normalmente estabelecida em -18°C (MARINI et.al, 2014).

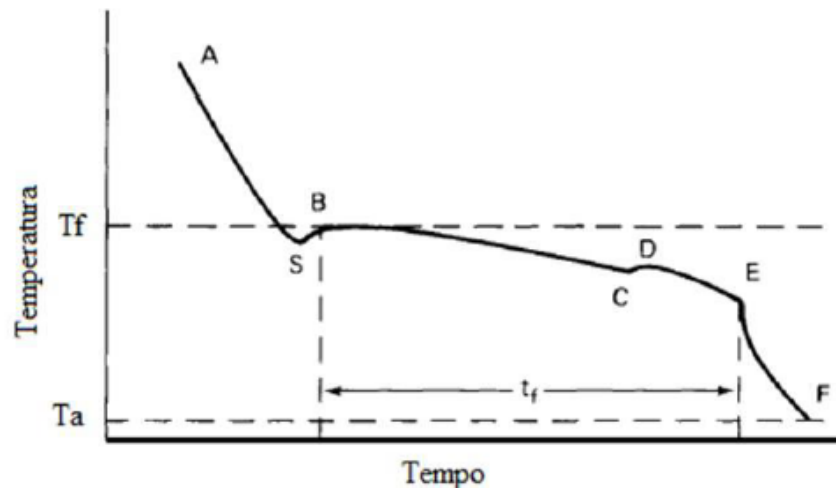


Figura 1: Curva típica do congelamento de alimentos, onde A- S: Período de Superresfriamento. B- C: Congelamento. C- D: Cristalização dos solutos. D- E: Cristalização de água e soluto. E – F: Temperatura de armazenamento. T_f : Tempo total.

Fonte: Fellows, 2006.

O número e tamanho dos cristais são determinados pela velocidade do congelamento. O tipo de congelamento pode ser caracterizado como lento ou rápido. No congelamento lento, a temperatura decresce até chegar ao valor desejado gradativamente, ficando mais tempo na zona crítica de 0 a -5°C , nesse processo ocorre a formação de grandes cristais no interior das células e nos espaços intercelulares (CHEN e PAN, 1997). Com a concentração dos sólidos nos espaços intercelulares, os cristais aumentam consideravelmente de tamanho e a água é transportada para o exterior das células, podendo ocasionar a ruptura da estrutura celular, acarretando alterações irreversíveis. Durante o descongelamento o material das células é perdido e o alimento fica com uma textura inferior, ficando amolecido (FELLOWS, 2006). De acordo com Ashrae (1989), a condutividade térmica da carne suína com 6,7% de gordura a temperatura de -14°C é baixa, cerca de $1,30 \text{ W/m.K}$, o que favorece a formação lenta de cristais de gelo quando utilizado técnicas de congelamento convencionais.

No congelamento rápido a redução da temperatura no ponto próximo a zona crítica é brusca, formando pequenos cristais de gelo no interior da célula, não lesionando a estrutura como que ocorre no congelamento lento. Por isso, é um processo menos prejudicial ao alimento, também como o alimento congela mais rapidamente, a inibição do crescimento microbiano ocorre mais cedo, assim como a retardação das reações químicas e enzimáticas (FREITAS e FIGUEIREDO, 2000).

O tempo de congelamento é um dos fatores mais importantes para escolha de um sistema de congelamento, pois auxilia na determinação da sua capacidade. De acordo com Ramakrishnan et al. (2004), o controle do processo de congelamento é um ponto crítico que deve ser considerado independente do método utilizado para determinar o tempo de congelamento. A eficiência do processo de congelamento reflete diretamente no tempo de retenção do produto e conseqüentemente na preservação das características de qualidade do produto.

3.4. Sistemas de congelamento

Existem diversos métodos de congelamento disponíveis, a escolha do melhor método depende de alguns fatores como, a composição do alimento, custo do processo, o tempo em que deseja manter o produto congelado e a qualidade esperada do produto descongelado (SILVA, 2000).

Os sistemas de congelamento podem ser divididos em sistema de contato direto e sistemas de contato indireto, essa classificação é distinguida pelo tipo de contato do produto com o meio de refrigeração (HELDMAN e LUND, 2007).

No sistema de contato direto, o fluído refrigerante entra diretamente em contato com o produto. Este sistema tem como objetivo garantir um congelamento rápido do produto, onde podem ser utilizados líquidos refrigerantes como nitrogênio e dióxido de carbono ou mesmo o ar a alta velocidade e temperatura baixa. Esse sistema possui elevada eficácia principalmente quando não são utilizadas barreiras a transferência de calor entre o fluido refrigerante e o produto, como embalagens (HELDMAN e LUND, 2007).

No sistema de congelamento de contato indireto o alimento é separado do fluído refrigerante pelo uso de uma barreira física, esta barreira pode ser a superfície de uma embalagem ou partes da estrutura do sistema de congelamento como no caso de congeladores a placas (SINGH e HELDMAN, 2001). Sendo este sistema é o mais utilizado para o congelamento de alimentos.

Os tipos de congeladores mais utilizados pela indústria de alimentos são os que utilizam a circulação de ar para reduzir a temperatura do produto. Esses equipamentos utilizam o

princípio de transferência de calor por convecção. O produto é transportado através de esteiras, ou bandejas e o ar frio é insuflado por ventiladores a velocidade de 5 a 6 m/s. Pode ser construído em diferentes formas, em gabinetes, túnel horizontal ou vertical. O fluxo de ar pode ser paralelo ou em contracorrente ao fluxo do produto e o sistema de alimentação pode ser em batelada ou contínuo, sendo o contínuo o mais utilizado em nível industrial (ASHRAE, 1998).

Quando a temperatura no centro térmico do produto atinge o valor desejado, o produto pode ser removido do túnel e a temperatura deve ser mantida em câmaras de estocagem com temperatura nunca superior a -18°C e com circulação de ar suficiente apenas para manter a homogeneidade da temperatura em todos os pontos da câmara (BRASIL, 1995). Geralmente os processos industriais utilizam para diferentes tipos de produtos as mesmas condições de operações e o tempo de retenção destes produtos é estabelecido pelas especificações e quantidade dos produtos (HELDMAN e LUND, 2007).

3.5. Sistemas de degelo

A formação de gelos nos evaporadores e nas serpentinas de sistemas de refrigeração que operam com temperatura negativa, é comum, principalmente devido à precipitação da umidade relativa do ar ambiente. O gelo formado pode obstruir parcial ou totalmente a passagem do ar ventilado pelas serpentinas, dificultado a troca de calor com o fluido refrigerante. O degelo do sistema é uma forma utilizada para solucionar este problema. Os métodos mais comuns de degelo são o degelo elétrico, a gás quente, natural e por água corrente (STOECKER e JABARDO, 2002).

No degelo elétrico as resistências elétricas são instaladas próximas à serpentina e o calor gerado derrete o gelo. Um dos problemas deste método é que 70% do calor gerado se dispersa na câmara, aumentando a temperatura do ambiente, dificultando a retomada da condição térmica anterior e impactando na qualidade dos produtos. Caso a camada de gelo atinja as resistências, o gelo evapora, aumentando a umidade do ar. Apesar de ser um sistema com custo inicial baixo, o custo operacional se torna elevado, devido ao elevado consumo de energia elétrica. É um sistema muito utilizado em equipamentos de pequeno e médio porte. O degelo natural pode ser utilizado apenas em ambientes com temperatura superior a 2°C , a circulação do fluido refrigerante é desligada e a ventilação permanece ligada, assim, o próprio ar ambiente ao passar pelas aletas, derrete o gelo naturalmente. Apesar de ser um sistema econômico é um processo muito lento (STOECKER e JABARDO, 2002).

O degelo por gás quente derrete o gelo na serpentina pelo vapor superaquecido originado na descarga do compressor. Um desvio no sistema leva o vapor até o evaporador, com isso, o derretimento ocorre de dentro para fora e 70% do calor é direcionado para a camada de gelo. A temperatura do gás quente não vaporiza o gelo, evitando o aumento na umidade interna. Após percorrer a serpentina o gás é direcionado para linha de sucção. É um procedimento que é mais complexo que os demais, mas apresenta baixo tempo de degelo, menor consumo de energia em relação ao sistema elétrico e elevada eficiência (FLÓRIO, 2017).

O degelo por água corrente, é um procedimento muito utilizado em evaporadores de grande porte, como túneis de congelamento, principalmente por que a água favorece um processo rápido, mesmo em equipamentos que a temperatura ambiente é mantida em -40°C . Para realizar esse degelo, a solenoide de refrigeração é desligada e é aberta a válvula para passagem de água, onde esta é aspergida sobre a serpentina e aletas. A água utilizada para esse procedimento deve ser próxima à 18°C (STOECKER e JABARDO, 2002). A desvantagem desse método é aumento no consumo de água.

3.6. Influência da embalagem no congelamento de cortes suínos

De acordo com a RDC nº 91 de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2001), embalagens para alimentos, são materiais que estão diretamente em contato com o alimento, com o objetivo de protegê-lo de agentes externos, alterações, contaminações e adulterações.

A Portaria nº 711 de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995), estabelece que o congelamento de produtos cárneos deve ser realizado após embalagem dos produtos em embalagens plásticas ou papel celofane e revestidas com proteção de papelão, de forma a possibilitar o armazenamento em câmaras de estocagem logo após o congelamento.

As embalagens utilizadas para o congelamento e estocagem dos produtos, devem suportar as baixas temperaturas utilizadas para estes processos, ter flexibilidade e elasticidade, para proteger contra danos mecânicos, como rasgos e perfurações e ser impermeável ao oxigênio e vapor de água, de forma a evitar a oxidação de lipídios e pigmentos (SARANTÓPOULOS, 1991).

De acordo com a RDC nº 259 de 2002 da ANVISA (BRASIL, 2002), as embalagens podem ser divididas em primárias, secundárias e terciárias. A embalagem primária é a que está diretamente em contato com os alimentos. As secundárias, ou pacotes, são as que contêm as embalagens primárias. As embalagens terciárias contêm uma ou várias embalagens secundárias.

Um dos principais materiais utilizados para embalagem primária e/ou secundária de alimentos é o polietileno (PE). Quanto maior a densidade do material, maior será a sua resistência mecânica e a temperatura e quanto menor a sua densidade, maior a resistência a impactos. De acordo com a densidade podem ser classificados como de baixa densidade (PEBD), média densidade e de alta densidade (PEAD), que diferem entre si pelas características físico-mecânicas (BARÃO, 2011). De acordo com Gryczak (2020), o PEBD possui condutividade térmica baixa, em torno de $k=0,1871 \text{ W/m.K}$, o que faz com que seja um isolante a transferência de calor, dificultando a troca térmica.

Para embalagens secundárias ou terciárias, geralmente são utilizados materiais como cartão ou papelão ondulado, principalmente pela sua rigidez, o que facilita o transporte dos produtos e protege contra impactos (BARÃO, 2011). De acordo com HOLMAN (1983), a condutividade térmica do papelão ondulado, é baixa, aproximadamente $k=0,064 \text{ W/m.K}$, o que dificulta a troca térmica.

Essas embalagens apesar de serem fundamentais para a qualidade do produto formam uma resistência para a transferência de calor. De acordo com Santos (2005), no congelamento de um produto cárneo embalado em embalagem primária de polietileno de baixa densidade e acondicionado em uma caixa de papelão ondulado, tem quatro resistências envolvidas neste processo. A primeira resistência é em relação a transferência de calor convectiva entre o produto e ar refrigerante, esta resistência pode ter variação dependendo da posição da caixa no túnel, principalmente pela distribuição e heterogeneidade da velocidade do ar no túnel.

A segunda é relacionada com a espessura do material da caixa e a condutividade do material. A terceira resistência engloba o contato entre o filme e a caixa e entre o filme e o produto, nesta resistência a presença de ar entre o material e a caixa ou o produto podem atuar como isolante, dificultando o congelamento. A quarta resistência tem interferência das características do produto, como percentual de gordura, presença de pele, presença de osso e tamanho da amostra.

Além destas resistências envolvidas no processo a uniformidade da temperatura inicial do produto, a homogeneidade da composição, a forma, irregularidades e a posição do produto no túnel podem impactar na transferência de calor e conseqüentemente no tempo de congelamento do produto (RESENDE et al., 2003).

3.7. Modificações e danos que podem ser causados pelo frio

Apesar de o congelamento ser um processo fundamental para a comercialização em larga escala dos produtos cárneos, o produto pode sofrer algumas modificações não desejáveis, reduzindo a sua qualidade.

Uma das características que podem ser afetadas durante o congelamento e/ou no descongelamento é quantidade de água e a sua distribuição no alimento. A capacidade de retenção da água é uma propriedade fundamental para a qualidade da carne, pode ser definida como a capacidade de reter sua própria água no interior da estrutura. Esta pode ser reduzida quando ocorre a recristalização da água, desnaturação das proteínas musculares e processos de oxidação lipídica e proteica durante o congelamento ou armazenamento (KARLSDOTTIR et.al., 2014). Quando ocorre a redução da capacidade de retenção de água durante o congelamento ou armazenamento, a textura da carne, assim como suas propriedades funcionais podem ser alteradas (SARANTÓPOULOS, 1991).

O congelamento por um longo período pode causar desnaturação das proteínas, pois os cristais de gelo redistribuem e alteram a concentração de solutos nas fibras musculares (HUANG, 2013). Flutuações de temperatura durante o congelamento e a estocagem dos produtos cárneos, podem formar cristais de água na superfície do produto, aumentando a desnaturação das proteínas e também resultando em queima pelo frio, o que conseqüentemente irá alterar a qualidade da carne, ressecando a sua superfície, comprometendo a coloração, sabor e textura, além de acarretar perda de peso (VIEIRA, 2007).

Quando os produtos são congelados e/ou estocados sem nenhum tipo de embalagem, a superfície do produto fica ressecada, o que altera a cor, textura, aparência, o valor nutricional e o sabor do alimento (HELDMAN e HARTEL, 1998). Também pode ocorrer a sublimação superficial, impactando em perda de peso do produto, o que impacta consideravelmente na qualidade e economia (CAMPAÑONE et al., 2001). Os principais fatores que causam estas alterações são a temperatura, o tempo de armazenamento e a umidade relativa do ar do ambiente.

Apesar de durante o armazenamento de produtos em temperatura de congelamento retardar as reações de oxidação, estas não cessam. Durante a vida útil os produtos cárneos congelados, a retirada de um átomo de hidrogênio de uma cadeia de ácido-graxo, forma um radical livre que reage com o oxigênio, formando peróxidos. Estes podem desencadear a degradação lipídica e formação de rancidez oxidativa e com isso, alteração no sabor, aroma, pigmentos e levar a perda de vitaminas (THANONKAEW et al., 2006).

Se houver vazamento de gases (amônia) provenientes dos tubos de refrigeração, esses podem penetrar na carne impactando em alterações do odor e sabor da carne (ROÇA, 2000).

3.8. Controle estatístico de processo

Com o crescimento do mercado da área de alimentos, assim como, da urbanização a qualidade dos alimentos está se tornando cada vez mais fundamental para o crescimento e manutenção das empresas. Novas estratégias foram necessárias para acompanhar o desenvolvimento do mercado e atender as expectativas e necessidades dos clientes. Lustosa et al. (2008), afirmam que para se manter competitivas, as empresas estão buscando atender 5 objetivos, sendo estes, i) a qualidade para produzir produtos dentro das especificações; ii) redução de perdas e retrabalhos; iii) flexibilidade frente as alterações mercado; iv) confiabilidade para cumprir com os acordos firmados com os clientes; e v) velocidade de forma a reduzir o tempo para produção.

Para alcançar estes objetivos são necessárias ações ou medidas para assegurar que os serviços ou produtos atendam as especificações, atingindo o valor alvo com a menor variabilidade possível. Uma das ferramentas que podem ser utilizadas para redução da variabilidade nas características de qualidade, contribuindo para melhoria da produtividade, da confiabilidade e do custo é o controle estatístico do processo (CEP) (RIBEIRO e CATEN, 2012).

Esta ferramenta foi desenvolvida por Walter Shewhart no início da década de 20, nos Estados Unidos, ao estudar a variação nas linhas telefônicas, da empresa de telefonia *Bell Telephone Laboratories*. Shewhart desenvolveu uma técnica para prevenção e detecção de variações nos processos avaliados.

Todo processo possui pequenas variações e estas podem ser classificadas como variabilidades normais, resultantes de causas comuns aleatórias e inevitáveis e as variabilidades especiais ou incomuns, que ocorrem quando o processo apresenta desvios sistemáticos, imprevisíveis, mas que quando se conhece o ponto e o momento do processo em que ocorrem é possível eliminá-las (NEVES et al., 2009).

Quando o processo apresenta apenas causas comuns, com a mesma variabilidade ao longo do tempo, é chamado de processo estável ou sob controle. No entanto, quando apresenta causas incomuns ou especiais, o processo é chamado de instável ou fora do controle.

O CEP utiliza de técnicas estatísticas no monitoramento dos processos para que este funcione sempre repetindo sua variabilidade inerente, eliminando todas as causas especiais de variação, estando sob controle estatístico. Para isto, são utilizadas ferramentas chamadas de cartas de controle ou gráficos de controle.

3.8.1. Cartas de controle

As cartas de controle são recursos visuais que possibilitam acompanhar as características de produtos e processos (SAMOHYL, 2009). Para Kazmier (2007), uma carta de controle é um gráfico que contém a faixa de variação atribuída a causas comuns, delimitada pelo limite superior e inferior, sendo que qualquer ponto fora destes limites sugere a existência de uma causa especial, entre estes limites é traçada a linha média que indica o resultado realizado no processo. Neste gráfico são plotados os níveis da característica da qualidade no eixo vertical, versus o período no eixo ou número da amostra no eixo horizontal (MONTGOMERY, 2012).

As cartas de controle para variáveis mais utilizadas são \bar{x} - S, \bar{x} - R e \bar{x} - $A_{móvel}$.

3.8.1.1. Cartas de controle \bar{x} - R

Os gráficos \bar{x} - R foram desenvolvidos para monitorar a média e a variabilidade de variáveis numéricas. As variáveis podem ser usadas para monitorar a localização (X) e a dispersão (R). Para elaboração dos gráficos de \bar{x} e de R, utilizam-se passos descritos por Montgomery (2012) e Ribeiro e Caten (2012).

Para o cálculo da média dos valores individuais de amostra considera-se que $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ seja uma amostra de tamanho N, conforme Equação 01.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} \quad \text{Equação (01)}$$

Como geralmente são coletadas várias amostras (M), onde cada uma contém N observações da característica da qualidade em estudo. Assim, considera-se que $(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_M)$ são as médias de cada uma das amostras e deve-se calcular a média geral do processo ($\bar{\bar{x}}$) pela Equação 02.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_m}{M} \quad \text{Equação (02)}$$

A amplitude da amostra (R) é definida pela Equação 03.

$$R = x_{máx.} - x_{min} \quad \text{Equação (03)}$$

Seja $R_1, R_2, R_3, \dots, R_m$ as amplitudes das m amostras, tem-se que a amplitude média é dada pela Equação 04.

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{M} \quad \text{Equação (4)}$$

Calculado $\bar{\bar{x}}$ e R, pode-se calcular os limites de controles das médias, considerando a extensão de 3 desvios padrões para cada lado das médias, que segundo a distribuição normal, abrange 99,73% dos valores das médias amostrais. Assim, o limite de controle é dado pela Equação 05.

$$LC = \bar{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}} \quad \text{Equação (05)}$$

Substituindo a expressão $\sigma_{\bar{x}} = \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$ na Equação 05 a Equação 06, sendo:

$\sigma_{\bar{x}}$ representa o desvio padrão das médias amostrais;

σ representa o desvio padrão dos valores individuais da população;

n representa o tamanho da amostra.

$$LC = \bar{\bar{x}} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Equação (06)}$$

Onde a variabilidade dos valores individuais é estimada pela média das amplitudes dos subgrupos usando $\sigma = \frac{R}{d_2}$, sendo que d_2 é uma constante que encontra-se na Tabela 5 em anexo) citada na norma ISO 8258 - Shewhart control charts.

Substituindo na Equação 06, obtêm-se:

$$LC = \bar{\bar{x}} \pm \frac{3R}{\sqrt{n}d_2} \quad \text{Equação (07)}$$

Substituindo $A_2 = \frac{3}{\sqrt{n}d_2}$, na Equação 07, tem-se os seguintes limites de controles para as médias, dadas pelas Equações 08 e 09.

$$LCS = \bar{\bar{x}} + A_2R \quad \text{Equação (08)}$$

$$LCI = \bar{\bar{x}} - A_2R \quad \text{Equação (09)}$$

Onde A_2 é uma constante que depende do tamanho da amostra e é obtida na Tabela 5 em anexo.

O cálculo dos limites de controle (LC) da amplitude são obtidos pela Equação 10.

$$LC = R \pm 3\sigma_R \quad \text{Equação (10)}$$

Onde: $\sigma_R = d_3$ e $\sigma = d_3 \frac{R}{d_2}$

σ_R representa o desvio padrão das amplitudes amostrais;

σ representa o desvio padrão dos valores individuais da população;

Substituindo na Equação 10, tem-se:

$$LCS = R + 3d_3 \frac{R}{d_2} \quad \text{Equação (11)}$$

$$LCI = R - 3d_3 \frac{R}{d_2} \quad \text{Equação (12)}$$

Substituindo $D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$ e $D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$ nas equações anteriores tem-se os seguintes limites de controle para as amplitudes:

$$LCS = D_4 R \quad \text{Equação (13)}$$

$$LCI = D_3 R \quad \text{Equação (14)}$$

Onde:

Limite de controle superior, denominado LCS.

Limite de controle inferior, denominado LCI.

Onde, D_3 e D_4 são constantes que depende do tamanho da amostra e são apresentadas na Tabela 5 em anexo citada na norma ISO 8258 - Shewhart control charts.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção estão apresentados a descrição dos produtos, respectivas embalagens utilizadas e os procedimentos experimentais realizados no processo de congelamento de cortes suínos. Esta pesquisa foi desenvolvida em um abatedouro frigorífico de suínos, com inspeção federal, localizado na região Sul do Brasil.

4.1. Definição de produtos e embalagens avaliados

Após o resfriamento das carcaças por 24 h em câmaras com temperatura ambiente controlada de 0 a 4°C, as carcaças foram direcionadas ao setor de corte onde foram realizadas as etapas de desossa, preparo e embalagem dos cortes, neste ponto, foram selecionados simultaneamente os produtos utilizados para os testes. No setor de cortes os produtos ficaram o menor tempo possível, de forma que a temperatura nas massas musculares se mantivesse igual ou menor a 7°C, conforme estipulado pela Portaria nº 711 de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995).

Para a realização dos testes foram definidos os produtos a serem congelados, a fim de obter reprodutibilidade dos testes. Para tanto, foram escolhidos os cortes de pernil suíno sem osso, com percentual máximo de 10% de gordura superficial, acondicionado em caixas com duas peças e peso líquido variável de 18 a 22 Kg (Figura 2a) e barriga suína sem pele e sem osso da costela, com largura entre 230 a 250 mm, comprimento 400 a 550 mm e peso variável de 3 a 5 kg, acondicionadas em caixas com 5 peças e peso líquido variável de 17,5 a 20 kg (Figura 2b).



(a)



(b)

Figura 2: Aspecto visual dos cortes pernil suíno (a) e barriga suína (b).

Fonte: O autor, 2021.

Cada pernil suíno foi embalado individualmente utilizando embalagem primária de polietileno de baixa densidade (PEBD), com dimensões de 600 mm de comprimento, 600 mm de largura e 0,05 mm de espessura. Após receber a embalagem primária, todas as peças que foram embaladas em um pacote único de polietileno de baixa densidade (PEBD), com dimensões de 850 mm de comprimento, 550 mm de largura e 0,10 mm de espessura, consistindo da embalagem secundária. Após a embalagem primária as peças de pernil adquirem forma esférica.

Após receber as embalagens primárias e secundárias os produtos com aproximadamente 22 kg líquidos, foram posicionados em caixa de papelão ondulado, onda C (3,6/3,7 mm, 13 a 15 ondas/10 cm), dimensões 570 mm de comprimento, 378 mm de largura, 160 mm de altura e 3 cm de espessura, com montagem automática realizada pela máquina dupla de colar e montar caixas – MDCFC, Modelo TF I, marca Plasmetal, com capacidade para 4.200 caixas/hora.

Cada peça de barriga suína foi embalada individualmente em embalagem primária de filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) pigmentado, em formato envelope, com dimensões 900 mm de comprimento, 900 mm de largura e 0,50 mm de espessura. Após a embalagem as peças de barriga adquirem forma retangular.

As peças foram posicionadas em caixa de papelão ondulado, onda C (3,6/3,7 mm, 13 a 15 ondas/10cm), com montagem manual realizada por um operador, com dimensões de 475 mm de comprimento, 245 mm de largura, 205 mm de altura e 9 mm de espessura. Também foi utilizado caixa de papelão ondulado, onda B (2,5/2,6 mm, 16 a 18 ondas/10cm), coluna mínima 6 KgF/cm, com dimensões de 515 mm de comprimento, 245 mm de largura, 205 mm de altura e 3 mm de espessura, com montagem automática realizada pela máquina dupla de colar e montar caixas – MDCFC, Modelo TF I, marca Plasmetal, com capacidade para 4.200 caixas/hora. As peças foram são intercaladas com divisória em estilo tabuleiro de papelão ondulado, onda B, com coluna mínima de 6,0 KgF/cm, com dimensões semelhantes as caixas. A Figura 3 mostra um esquema representativo das embalagens utilizadas, com as dimensões da caixa.

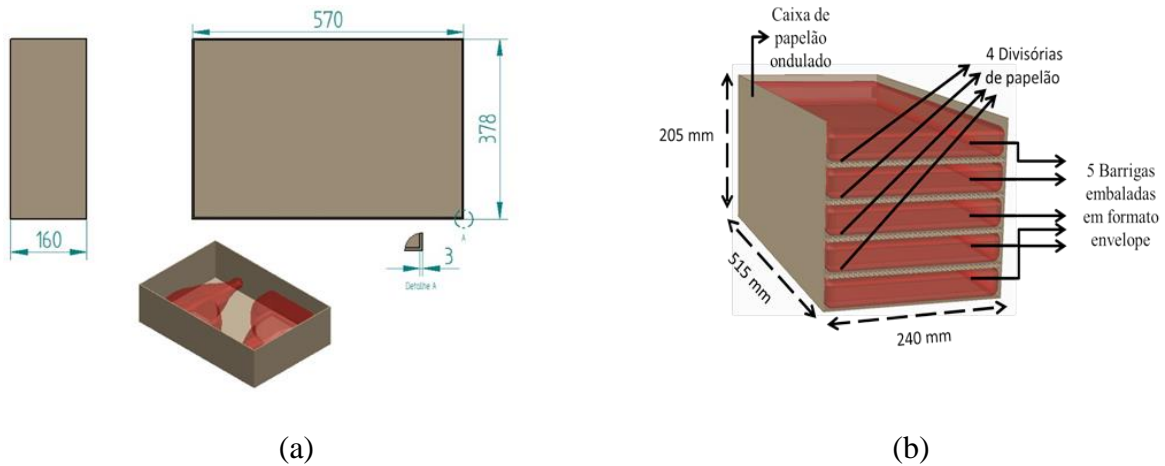


Figura 3: Esquema do acondicionamento dos produtos, pernil suíno (a) e barriga suína (b) nas caixas de papelão.

Fonte: O autor, 2021.

As caixas com pernil e barriga foram acondicionadas em um túnel de congelamento contínuo sem a tampa, para maior transferência de calor entre o ar refrigerante e o produto.

4.2. Procedimento de carregamento dos produtos no túnel de congelamento contínuo

O túnel de congelamento contínuo é composto por 32 níveis de distribuição de produto, sendo destes 1 para retorno, cada nível com 13 bandejas, cada bandeja tem capacidade para 32 caixas com dimensões de 570 mm de comprimento, 378 mm de largura e 160 mm de espessura e capacidade para 25 Kg de produtos, o que equivale capacidade para congelamento de 12.896 caixas.

O túnel é constituído por 5 blocos de ventilação sendo no total 15 ventiladores, com potência de 15 cv, tensão de 380/660 V e 1.175 RPM, com diâmetro de hélices de 106 mm, situados na parede contrária a entrada de produto. A temperatura média de entrada do ar frio no túnel é de -40°C e temperatura de saída -30°C .

Os produtos são alimentados através de esteiras e o fluxo é em sentido horizontal, em contracorrente com o fluxo de ar frio (Figura 4). O fluxo de abastecimento das bandejas, sendo estas, chapas horizontais de aço galvanizado, com dimensões de 3,685 m de comprimento e 1,260 m de largura, foi realizado de duas formas, horizontal e vertical, e é monitorado pelo Software Factory Talk View SE Client – FTView, Johnson Controls.

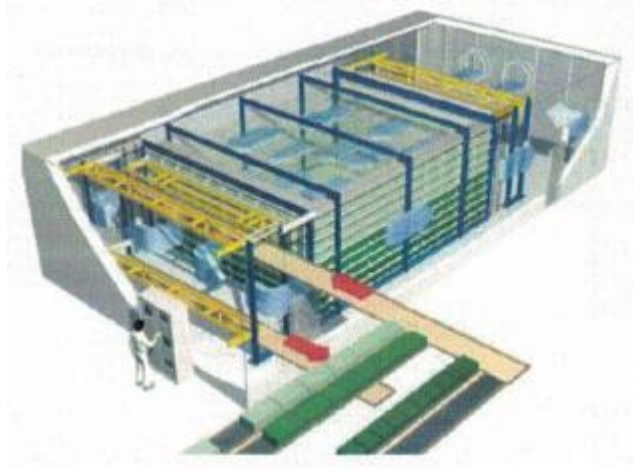


Figura 4: Representação esquemática de abastecimento do túnel de congelamento contínuo com bandejas dos produtos.

Fonte: Johnson, 2014.

No abastecimento de forma horizontal, as caixas chegam até a entrada do túnel através das esteiras rolantes, onde um braço mecânico empurra 32 caixas sobre a bandeja do elevador de entrada, posteriormente o operador do túnel direciona o elevador até o nível que será preenchido, a bandeja é introduzida no nível, o que faz com que as demais bandejas sejam empurradas em sentido da ventilação, o procedimento é repetido até que todo nível esteja completo. Após o preenchimento, a bandeja recebe cor vermelha, esta cor que é alterada para cor branca, após atingir o tempo de retenção sendo que para produtos de exportação com peso inferior a 13,50 Kg, produtos para o mercado interno e matéria-prima congelada é de 24 h e para os demais produtos destinados para exportação com peso superior a 15 Kg o tempo de retenção é de 36 h.

Ao atender o tempo de retenção das caixas, o operador direciona uma bandeja vazia na entrada do nível que será descarregado, o que faz com que a bandeja que está no ponto mais próximo a ventilação seja posicionada sobre o elevador de saída. O elevador irá direcionar a bandeja até o primeiro nível (nível de retorno), fazendo com que a bandeja no final deste nível seja posicionada sobre o elevador de entrada, que irá se deslocar até a esteira de saída e descarregar as caixas, o procedimento é repetido até que todo o nível esteja vazio. O abastecimento será realizado neste nível que já se encontra vazio.

Com este modelo de abastecimento, a primeira bandeja abastecida no nível irá permanecer durante todo o tempo de retenção na posição mais próxima dos ventiladores (posição de maior troca térmica), enquanto que a última bandeja ficará no ponto mais distante dos ventiladores (posição com menor troca térmica), neste caso somente irá se deslocar até a posição

mais próxima da ventilação durante o descarregamento, o que pode impactar no atendimento da temperatura crítica do produto.

A Figura 5 apresenta o diagrama esquemático do abastecimento das bandejas com os produtos, dentro do túnel de congelamento.

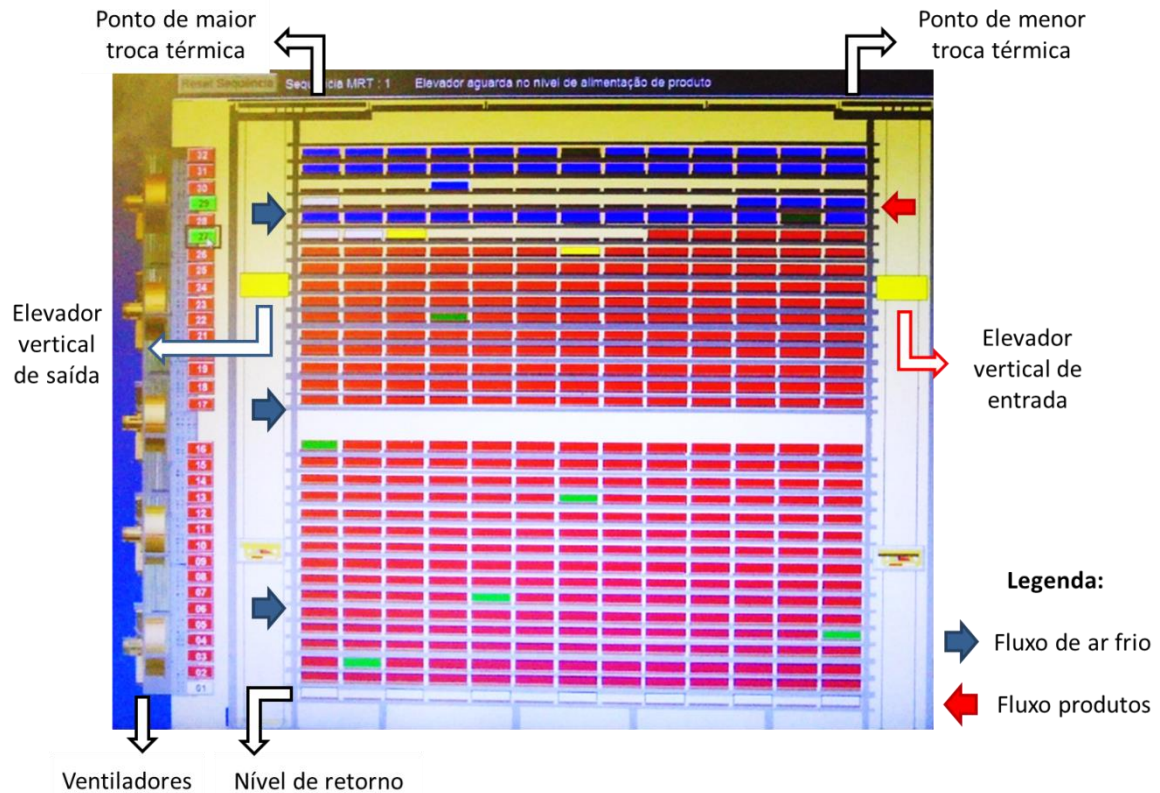


Figura 5: Diagrama esquemático do abastecimento das bandejas com os produtos, dentro do túnel de congelamento.

No abastecimento de forma vertical, as caixas chegam até a entrada do túnel através das esteiras rolantes, onde um braço mecânico empurra 32 caixas sobre a bandeja do elevador de entrada, automaticamente o elevador se desloca até o nível que será preenchido, a bandeja é introduzida no nível, fazendo com que as demais bandejas que já estão preenchidas, sejam empurradas em sentido da ventilação. Isto faz com que a bandeja que está no ponto mais próximo à ventilação seja posicionada sobre o elevador de saída. O elevador irá direcionar esta bandeja até o primeiro nível (nível de retorno), fazendo com que a bandeja no final deste nível seja posicionada sobre o elevador de entrada, que irá se deslocar até a esteira de saída e descarregar as caixas.

Em seguida, o elevador de entrada repete o procedimento de carregamento e posiciona a bandeja na entrada do próximo nível de congelamento. Neste modelo, a bandeja ficará na posição mais distante dos ventiladores, apenas enquanto os demais níveis são preenchidos.

Com isso, o tempo de retenção da caixa não é mais um valor pré-definido, este será determinado pela quantidade de bandejas que serão alimentadas, pois quanto maior o volume de produção, mais rapidamente as bandejas são preenchidas e chegam à posição de descarregamento. Neste modelo a coloração da bandeja será alterada para a cor branca após 23 h de congelamento.

Com este modelo de abastecimento, o procedimento de congelamento inicia com a caixa na posição mais distante dos ventiladores (posição de menor troca térmica) e termina no ponto mais próximo dos ventiladores (posição de maior troca térmica), favorecendo que a temperatura crítica dos produtos seja atendida em menor tempo de retenção.

Para ambos os métodos de abastecimento a homogeneidade da temperatura de cada peça do produto foi avaliada através de medição da temperatura no centro térmico do produto com o auxílio de termômetro espeto marca AKSO, modelo AK16L, com temperatura de operação -10 a 50°C, foram selecionados produtos com temperatura de resfriamento na faixa de 3 a 5,5°C, de forma a buscar uniformidade na temperatura inicial.

4.3. Influência dos métodos de congelamento no túnel contínuo

A influência dos métodos de congelamento no túnel contínuo foi avaliada mediante a realização da leitura das temperaturas internas dos produtos, sendo inseridas sondas no centro das peças utilizando um aparelho Data Logger (marca Testo, modelo Multitrip – Multi Use Data Logger 175 TI). A programação do aparelho e registro dos dados foi feito com o auxílio do programa Comfort Software Basic, versão 5.0.2635.26129. O intervalo de medições foi de 5 minutos entre cada leitura.

4.3.1. Uso de embalagem secundária e forma de abastecimento de pernil suíno

Para avaliar a influência da embalagem secundária durante o congelamento do pernil suíno fez-se a determinação da temperatura do produto embalado apenas na embalagem primária (pacotes individuais) e com a embalagem primária e secundária (pacote único), sendo que ambos foram acondicionados em caixas de papelão ondulado (embalagem terciária).

Após a programação da sonda do Data Logger, esta foi inserida no centro de uma das peças e posicionadas no fundo da caixa (conforme descrito no item 3.3). As caixas foram carregadas simultaneamente através de esteira, pelo método horizontal, acondicionadas em uma

bandeja no ponto mais distante dos ventiladores, ponto de menor troca térmica, do nível de congelamento 21. Depois de transcorrido o tempo de retenção de 36 h, os Data Loggers foram removidos, os dados foram registrados.

Posteriormente, o procedimento de carregamento das caixas foi alterado para vertical e as caixas com as peças embaladas individualmente + pacote único foram carregadas simultaneamente através de esteira, durante o tempo de retenção (29 h) houve movimentação das caixas dentro do nível. Depois de transcorrido o tempo de retenção, os Data Loggers também foram removidos, os dados foram registrados.

4.3.2. Método de abastecimento das caixas de pernil suíno no congelamento

No período de março a novembro de 2020, na saída do túnel contínuo, foi acompanhada a temperatura das caixas de pernis suínos utilizando embalagem primária e secundária de PEBD e apenas embalagem primária de PEBD, com abastecimento horizontal e vertical, para verificar se atingiam a temperatura crítica (-18°C), após o congelamento. Caso os produtos não atingissem a temperatura crítica seriam destinados novamente ao processo de congelamento (reprocesso), podendo impactar em redução na capacidade de congelamento do túnel.

4.3.3. Tempo de retenção de barriga suína acondicionada em caixas com diferentes dimensões e em diferentes níveis de congelamento

Foram preparadas duas caixas, de cada dimensão: montagem automática 515 mm de comprimento, 240 mm de largura, 205 mm de altura e 3 mm de espessura (Figura 6a) e montagem manual 475 mm de comprimento, 245 mm de largura, 205 mm de altura e 9 mm de espessura (Figura 6b), de barriga suína e carregadas simultaneamente através de esteira para dentro do túnel, avaliação foi realizada nos níveis de congelamento 05 e 23, respectivamente. O método de abastecimento utilizado foi o vertical, desta forma, houve movimentação das caixas dentro do seu respectivo nível, durante o tempo de retenção. As avaliações foram repetidas por 25 dias. Depois de transcorrido o tempo de retenção, os Data Loggers foram removidos, os dados foram registrados.



Figura 6: Aspecto visual do acondicionamento de barriga suína em caixa de papelão com montagem automática (a) e barriga suína acondicionada em caixa de papelão com montagem manual (b).

Fonte: O Autor, 2021.

Para avaliar a temperatura em diferentes níveis dentro do túnel de congelamento foram utilizadas 7 sondas, sendo estas posicionadas nos níveis 1, 7, 13, 18, 23, 28 e 31 (Figura 7), no local de carregamento de produtos (no ponto mais distante dos blocos de ventilação), utilizando o aparelho Datapaq® Food Tracker®, modelo TB 5016. A programação do aparelho e registro dos dados foi feito com o auxílio do programa Food Tracker Insight, versão 8. O intervalo de medições foi de 10 minutos entre cada leitura.

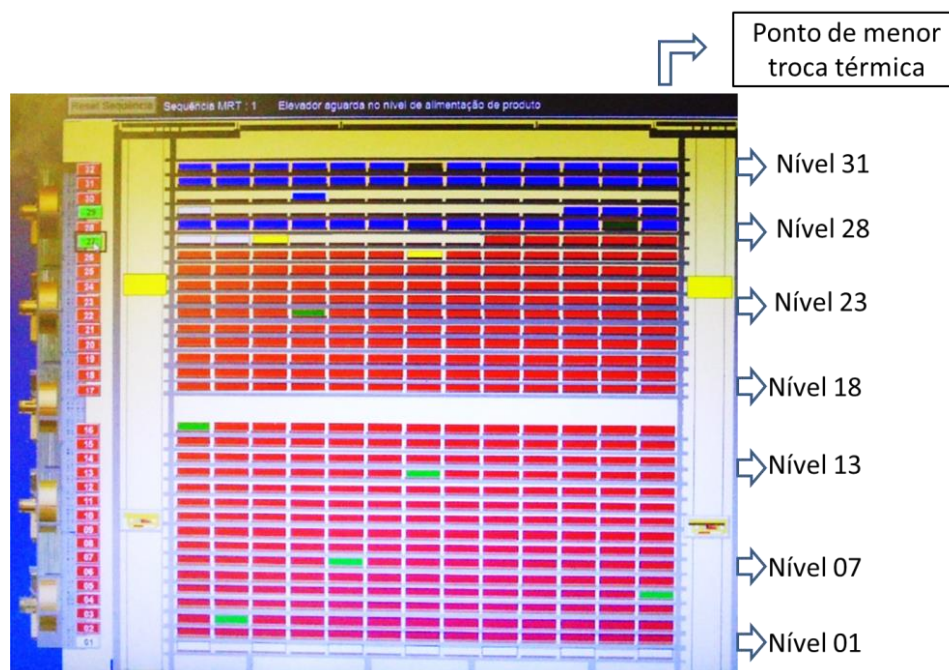


Figura 7: Diagrama esquemático com demonstração dos níveis do túnel de congelamento.

Fonte: O Autor, 2021.

O acompanhamento da temperatura ambiente do túnel de congelamento, nos diferentes níveis, foi realizado no período de 54 h com e sem a etapa de degelo nos blocos de evaporação. O degelo foi efetuado nas primeiras 6 h de teste, foi efetuado utilizando vapor superaquecido originado na descarga do compressor para derreter o gelo na serpentina e posteriormente o procedimento de degelo é realizado com água corrente, onde é a válvula de água é aberta e durante os 5 últimos minutos de degelo, o procedimento com gás e água ocorrem simultaneamente. Na empresa esse procedimento é realizado uma vez por semana e é fundamental, pois remove o gelo formado pela umidade do ar, nos blocos de evaporação e nas bandejas. Caso o degelo não seja realizado, gelo formado irá bloquear a passagem de ar e afetar o desempenho do equipamento (STOECKER e JABARDO, 2002).

4.4. Espaços vazios nas bandejas do túnel de congelamento

A unidade industrial utiliza caixas de diferentes tamanhos para o congelamento dos produtos, alguns itens utilizam caixas com diferença de até 173 mm de comprimento e de 123 mm de largura e com peso inferior a 13,5 Kg, acarretando espaços vazios nas bandejas, criando caminhos preferenciais para o fluxo de ar e impactando na redução da capacidade de congelamento. A fim de reduzir estes espaços, foram realizados testes utilizando grampos plásticos para agrupar duas caixas e verificar a possibilidade do aumento do número de posições nos níveis (quantidade congelada).

4.5. Análise estatística

Os dados foram avaliados utilizando 6 amostras por meio do \bar{X} (média) e R (amplitude), os quais são os mais empregados e devem ser usados simultaneamente, pois se complementam. O gráfico \bar{X} controla a variabilidade no nível médio do processo e suas mudanças e o R a amplitude de variação dos dados, o que demonstra a dispersão do processo que gera variabilidade (TOLEDO e ALLIPRANDINI, 2004). Para tanto se utilizou o software *Microsoft Excel 2010*, 14.0.4760.1000, para o cálculo dos limites de controle.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção estão apresentados os resultados encontrados com os procedimentos experimentais realizados no processo de congelamento de cortes suínos.

5.1. Influência do uso de embalagem secundária no congelamento de pernil suíno

A Figura 8 apresenta a curva de congelamento de amostras de pernil suíno embaladas em embalagens individuais (embalagem primária) e em embalagens individuais + pacote único (embalagem secundária). Em seguida, todas as amostras, foram inseridas em caixas de papelão ondulado e dispostas dentro do túnel de congelamento, através do método de abastecimento horizontal, no ponto mais afastado do ventilador, ou seja, local de menor troca térmica, durante o tempo de retenção.

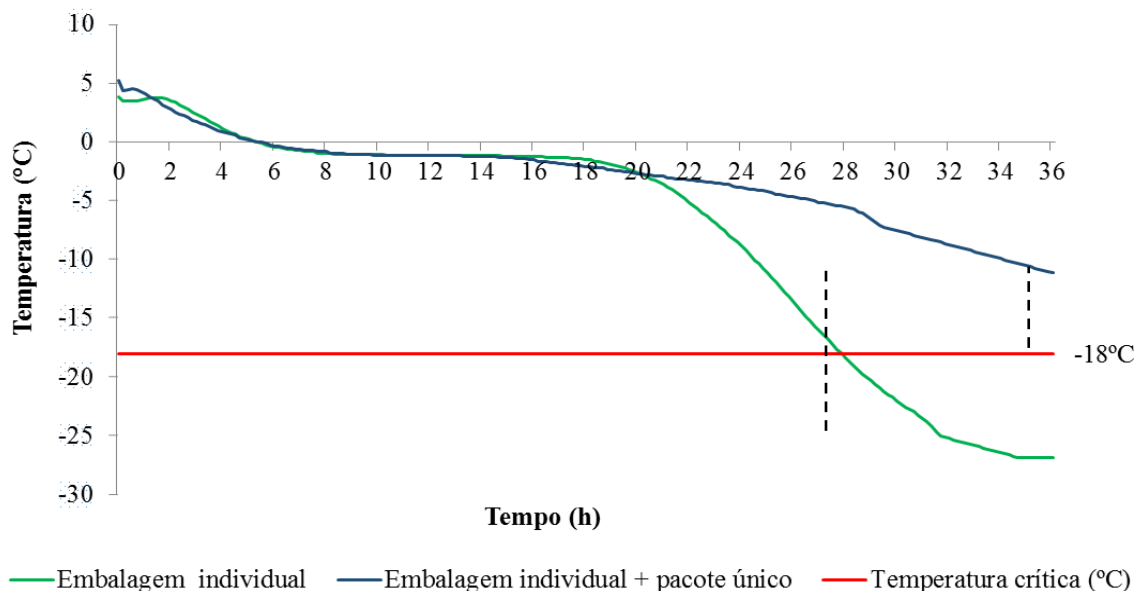


Figura 8: Curva de congelamento de pernil suíno embalado em embalagem individual e individual + pacote único disposto no túnel em local de menor troca térmica.

Durante o tempo de retenção, no ponto de menor troca térmica, as caixas com pernis embalados em pacotes individuais atenderam a temperatura crítica de -18°C após aproximadamente 28 h de congelamento. No entanto, os produtos embalados individualmente + pacote único, mesmo após 36 h de congelamento não foi possível atingir a temperatura crítica de -18°C , não atendendo o especificado pela Resolução nº 216 (BRASIL, 2004), que cita que para minimizar o risco de contaminação cruzada, os alimentos congelados devem ser conservados à temperatura igual ou inferior a -18°C .

Após 36 h de congelamento, os pernis embalados em pacotes individuais atingiram a temperatura de $-26,8^{\circ}\text{C}$, de acordo IIR, 2006, cerca de 88% da água presente no alimento já está congelada a uma temperatura de -30°C , o que faz com que o crescimento de microrganismos seja reduzido assim como a velocidade das reações químicas e enzimáticas. Nesta temperatura a atividade de água encontra-se reduzida, próxima a 0,60, de acordo com Garcia, 2004, o crescimento de microrganismos é prevenido em atividades de água entre 0,6 – 0,7, sendo que abaixo de 0,60 dificilmente ocorre o crescimento de microrganismos, a partir de 0,65 inicia a proliferação de alguns microrganismos específicos, sendo que até 0,75 apenas algumas bactérias halófitas, leveduras e fungos xerofílicos podem se desenvolver.

Os produtos embalados individualmente + pacote único, após o tempo de retenção, atingiram a temperatura de -11°C , nesta temperatura o produto já é considerado congelado e cerca de 79% da água já está congelada (ASHRAE, 1989). Apesar da maioria dos microrganismos não se desenvolverem a temperatura abaixo de -10°C , esta condição pode favorecer a velocidade das reações químicas e enzimáticas, reduzindo a vida útil do produto quando comparado com o teste em que os pernis foram embalados apenas em embalagem individual.

Também é possível perceber que para os produtos embalados individualmente + pacote único, o tempo de congelamento na zona crítica (0°C a -5°C), foi aproximadamente 5 h (22,5%) maior do que para os produtos embalados individualmente, o que pode favorecer a formação de grandes cristais no interior das células e nos espaços intercelulares, podendo ocasionar a ruptura da estrutura celular, acarretando alterações irreversíveis e aumentando a perda de água por exsudação, conforme citado por Chen e Pan (1997) e Santos (2005).

A Figura 9 apresenta os dados de tempo de congelamento de amostras de pernil suíno embaladas em embalagens individuais e em embalagens individuais + pacote único, acondicionadas em caixas de papelão, que foram dispostas no túnel de congelamento, através do método de abastecimento vertical, as quais tiveram movimentação no nível 21, durante o tempo de retenção.

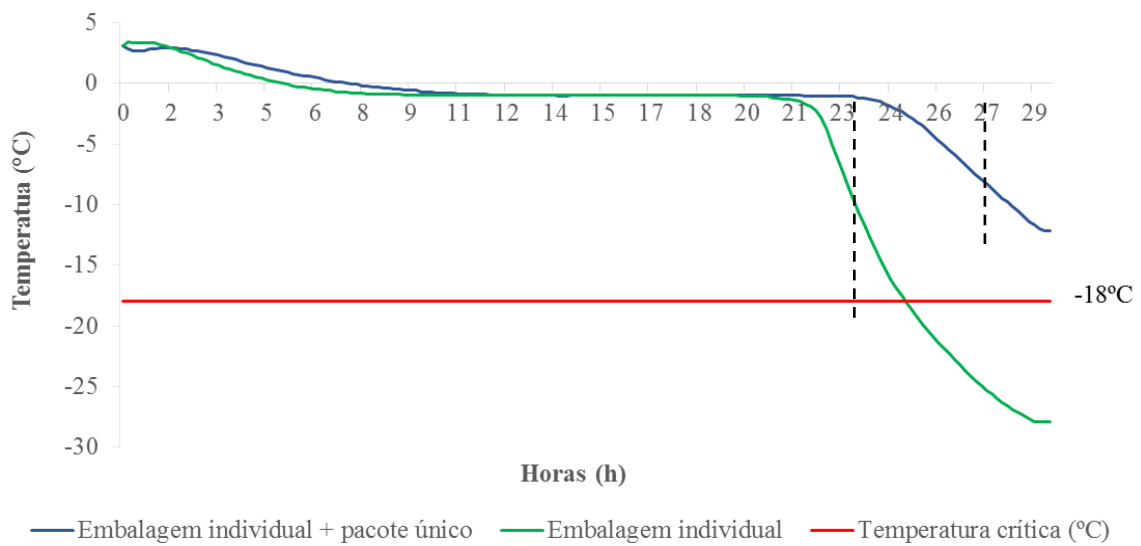


Figura 9: Curva de congelamento de pernil suíno embalado em embalagem individual e individual + pacote único disposto no túnel com movimentação no nível.

Com movimentação da caixa durante o tempo de retenção, as caixas com pernis embalados em pacotes individuais, atingiram a temperatura crítica de -18°C após 24:30 h. Já para as amostras embaladas individualmente + pacote único, mesmo após 29 h de congelamento não foi possível atingir a temperatura crítica de -18°C , não atendendo o especificado pela Resolução RDC nº 216, (BRASIL, 2004).

Neste método de abastecimento, o tempo de retenção das caixas no túnel não é mais um valor pré-definido e é dependente do fluxo de abastecimento das bandejas, desta forma com a mudança na forma de abastecimento das caixas o tempo de retenção reduziu de 36 h para 29 h, redução de 7 h no processo de congelamento. A redução do tempo de retenção dos produtos, desde que atendam a temperatura crítica de congelamento é essencial para aumentar a capacidade do sistema.

Após 29 h de congelamento os pernis embalados em pacotes individuais atingiram a temperatura de $-27,9^{\circ}\text{C}$, próximo a temperatura de -30°C , em que cerca de 88% da água presente no alimento já está congelada (IIR, 2006), nesta temperatura o crescimento de microrganismos é reduzido, assim como a velocidade das reações químicas e enzimáticas. Conforme descrito anteriormente, nesta temperatura a atividade de água encontra-se reduzida, próxima a 0,60, de acordo com Garcia, 2004, o crescimento de microrganismos é prevenido em atividades de água entre 0,6 – 0,7.

Os produtos embalados individualmente + pacote único, atingiram a temperatura de $-12,20^{\circ}\text{C}$, após o tempo de retenção, nesta temperatura cerca de 20% da água não está congela-

da, apesar da maioria dos microrganismos não se desenvolverem a temperatura abaixo de -10°C , esta condição pode favorecer a velocidade das reações químicas e enzimáticas, reduzindo a vida útil do produto quando comparado com o teste em que os pernis foram embalados apenas em embalagem individual.

Também é possível perceber que para os produtos embalados individualmente + pacote único, o tempo de congelamento na zona crítica (0°C a -5°C), foi 1,5 h (8%) maior do que para os produtos embalados individualmente, o que pode favorecer a formação de grandes cristais no interior das células e nos espaços intercelulares, podendo ocasionar a ruptura da estrutura celular.

Analisando as Figuras 8 e 9, identificou-se que em ambos os experimentos, independente se a caixa ficou posicionada no ponto de menor troca térmica ou se teve movimentação no nível, o tempo de retenção não foi suficiente para atender a temperatura crítica do produto para as caixas com pernis embalados em embalagem individual e em pacote único. O resultado pode ser explicado pelo uso da embalagem secundária de polietileno de baixa densidade (pacote único), que apresenta espessura de 0,10 mm, valor este, duas vezes maior que a espessura da embalagem individual, o que ocasiona aumento da resistência a transferência de calor condutiva, pois para atingir o centro térmico da peça é necessário vencer a resistência do pacote único, a resistência da embalagem individual, a resistência ligada a de gordura superficial da peça e a resistência da carne do produto. Além disso, o uso de um pacote único pode favorecer a presença de bolsas de ar no interior na embalagem, estas bolsas de ar podem atuar como um isolante térmico, dificultando a transferência de calor, conforme apontado por (RESENDE et al., 2003).

A condutividade térmica das peças de pernil pode ser alterada pela composição do tecido e principalmente pela gordura superficial de cada peça, pois de acordo com Ashrae (1989), a condutividade da gordura suína a -15°C é baixa, cerca de $0,218 \text{ W/m.K}$, este fator pode dificultar ainda mais a transferência de calor por condução especialmente nas peças com elevado percentual de gordura. O percentual de gordura superficial das peças durante a produção é avaliado visualmente, o que pode interferir no tempo total de congelamento dos produtos. Apesar de a gordura superficial interferir no tempo de congelamento das peças, esta é essencial para conferir características organolépticas para a carne, impactando diretamente na palatabilidade e também serve como uma capa de proteção que evita a queima pelo frio durante o processo de congelamento.

Além disso, a condutividade térmica das embalagens primárias e secundárias de PEBD é baixa, o que dificulta a transferência de calor e favorece a formação lenta de cristais de gelo quando utilizadas técnicas de congelamento convencionais.

O uso da caixa de papelão também dificulta a transferência de calor, principalmente por ser composta de várias multicamadas, sendo a camada do centro em formato ondulado, o que faz com que as folhas fiquem afastadas, dando espaço para o ar, esta condição proporciona mais um obstáculo para a transferência de calor por condução na espessura da parede e também pode atuar como um isolante térmico.

Santos (2005) e Dalavechia (2017), obtiveram redução de até 45% e de 74% respectivamente no tempo de congelamento de produtos cárneos quando congelados em caixas teladas de aço inoxidável e de PEAD em comparação com o uso de caixas de papelão, o que demonstra a influência da resistência oferecida pela embalagem de papelão à transferência de calor.

Os produtos quando submetidos a processo de congelamento apenas com o uso de pacotes individuais (embalagem primária de PEBD), permaneceram com sua aparência inalterada, sem ressecamento superficial, queima pelo frio, ou sublimação superficial, mantendo a qualidade esperada pelo produto, se mostrando uma opção viável para o congelamento de pernil suíno.

O processo de congelamento industrial pode ser muito complicado, principalmente, pois o produto estudado apresenta uma estrutura muito complexa, com forma e tamanho irregular, a homogeneidade da temperatura do produto não é garantida, além de haver a possibilidade da existência de vácuo, bolsas de ar dentro do produto e das embalagens. Além disso, os coeficientes convectivos de transferência de calor podem variar de acordo com a posição do produto dentro do túnel e com o uso de diferentes tipos de embalagens. Devido a possibilidade de todas estas interferências, o tempo de retenção na indústria deve sempre ser maior que o necessário levando em consideração uma margem de segurança, de forma a assegurar o atendimento da temperatura crítica no final do congelamento.

Através destes experimentos foi possível a alteração na especificação de embalagem do item, onde foi retirado o uso da embalagem secundária de polietileno de baixa densidade (pacote único) e padronizado apenas o uso da embalagem de polietileno de baixa densidade (embalagem individual).

5.2. Influência do método de abastecimento das caixas de pernil suíno no congelamento

A Figura 10 apresenta as curvas de congelamento de amostras de pernil suíno embaladas em pacotes individuais e em caixas de papelão com abastecimento vertical e horizontal.

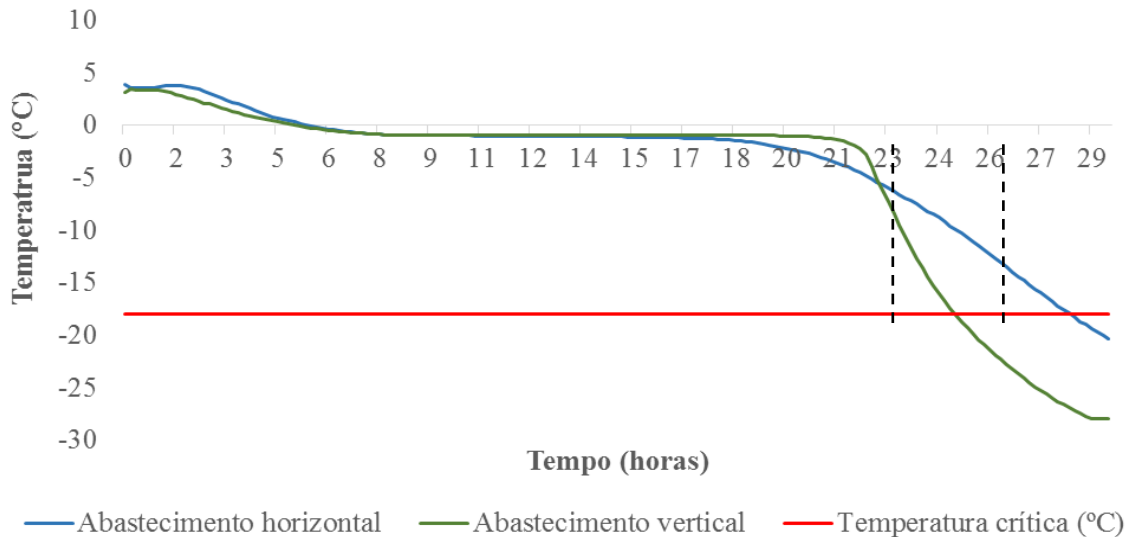


Figura 10: Curva de congelamento de pernil suíno embalado em pacotes individuais e em caixas de papelão com abastecimento vertical e horizontal.

Avaliando a Figura 10, pode-se observar que a alteração no procedimento de abastecimento de horizontal para vertical, impactou em redução de 3,5 h no tempo necessário para o atendimento da temperatura crítica de -18°C , impactando em um ganho de 12,5% no tempo de congelamento, e redução de 0,5 h no tempo de congelamento na zona crítica (0° a -5°C), com provável diminuição do tamanho dos cristais de gelo formados e da conservação da integridade do tecido muscular, o que pode reduzir a perda de água por exsudação, mantendo a qualidade final do produto (FREITAS e FIGUEIREDO, 2000).

Após 29 h de retenção, a diferença entre o abastecimento horizontal e vertical é em torno de $7,6^{\circ}\text{C}$. Atingindo a temperatura de $-27,9^{\circ}\text{C}$, quando abastecidos no túnel de congelamento pelo método de vertical, temperatura esta próxima a -30°C em que o crescimento de microrganismos é reduzido, assim como a velocidade das reações químicas e enzimáticas.

Como os túneis de congelamento utilizam a circulação forçada de ar, com o uso de baixas temperaturas (-35 a -45°C) e velocidade do ar (3 a 8 m/s), a posição mais próxima do sistema de ventilação, favorece a transferência de calor por convecção. Sendo favorecido no método de abastecimento vertical, pois a bandeja se desloca em sentido do sistema de ventila-

ção durante o tempo de retenção, ficando apenas um curto espaço de tempo no ponto mais distante do sistema de ventilação.

Já no abastecimento horizontal, a última bandeja do nível, fica na posição próxima aos ventiladores apenas enquanto o nível é descarregado, cerca de alguns minutos, ficando a maior parte do tempo de retenção na posição mais distante dos ventiladores, neste ponto o fluxo de ar precisa vencer todas as barreiras formadas pelos produtos nas presentes nas demais bandejas, o que faz com que seja o ponto de menor troca térmica e com isso dificulta o atendimento da temperatura crítica do produto.

Outro fator que pode influenciar no tempo de congelamento é a camada superficial de gordura de cada peça, pois a especificação de corte de cada barriga exige uma camada uniforme de gordura de até 0,3 mm, isto pode impactar na redução da condutividade térmica das peças, pois de acordo com Ashrae, 1989, a condutividade da gordura suína a -15°C é baixa, cerca de 0,218 W/m.K, dificultando a transferência de calor por condução. A presença de gordura superficial nas peças é essencial para conferir características organolépticas para a carne, impactando diretamente na palatabilidade e também serve como uma capa de proteção que evita a queima pelo frio durante o processo de congelamento.

Avaliou-se na saída do túnel durante o período de março a julho de 2020, o percentual de caixas de pernis que não atingiam temperatura crítica de -18°C e eram destinadas ao reprocesso, em relação ao total de caixas congeladas na agroindústria.

No período de Janeiro até o mês de Junho, as caixas com pernis foram embaladas em embalagem individual + pacote único e abastecidas através do método horizontal, a média de caixas neste período que retornaram ao processo de congelamento foi de 1.192 caixas/mês, impactando em um percentual de reprocesso de 0,47% em relação ao total de caixas congeladas pela agroindústria. A partir do mês de Julho de 2020, houve alteração no padrão de embalagem do pernil, sendo que as peças de pernis foram embaladas apenas em embalagens individuais, neste período o número de caixas que retornaram ao processo foi de apenas 109 caixas/mês, o que impactou em uma redução de 0,43% no percentual de caixas de pernis direcionadas para reprocesso, o que equivale a redução de aproximadamente 1.083 caixas por mês.

No mês de Julho de 2020 as caixas de pernis foram abastecidas no túnel de congelamento pelo método horizontal e as peças foram embaladas apenas com a embalagem individual, a média de caixas neste período que retornaram ao processo de congelamento foi de 109 caixas/mês, impactando em um percentual de reprocesso de 0,04%. A partir de Agosto de 2020, a unidade alterou o método de abastecimento das caixas para vertical, após a alteração, no período de Agosto a Novembro de 2020, a média de caixas que retornaram ao processo de

congelamento foi de apenas 24 caixas/mês, reduzindo o percentual de reprocesso para apenas 0,01%, impactando em redução de aproximadamente 85 caixas por mês o equivalente a redução de 0,03% de reprocesso.

Estes resultados demonstram que a alteração no padrão de embalagem e no abastecimento das caixas auxiliaram na redução de 0,46% no número de caixas destinadas para reprocesso, sendo 0,43% referente a alteração do padrão de embalagem de pernil para o uso de apenas de embalagem individual e 0,03% referente ao abastecimento vertical.

Apesar do resultado encontrado aparentar ser pequeno frente ao total de caixas congeladas na agroindústria, a redução do número de caixas direcionadas para o reprocesso gera um efeito crucial para a qualidade do produto final. Pois durante o período de tempo em que a caixa é retirada do túnel e é reencaminhada para congelamento pode ocorrer flutuação na temperatura, o que pode favorecer o descongelamento parcial do produto e com isso a formação de cristais de gelo na superfície, fazendo com que a superfície fique ressecada e também o congelamento por um longo período pode causar desnaturação das proteínas, pois os cristais de gelo redistribuem e alteram a concentração de solutos nas fibras musculares, impactando negativamente na qualidade do produto.

Para otimizar os processos é crucial que as empresas concentrem os esforços para eliminar qualquer tipo de reprocesso e/ ou retrabalho, pois o reprocesso também demonstra a ineficiência do referido sistema, ocasiona desgastes operacionais, acaba interferindo no tempo e espaço útil no túnel, reduzindo a capacidade de congelamento e ocasionando aumentos desnecessários nos custos.

A alteração no padrão de embalagem reduziu cerca de 91% do percentual de caixas de pernis que retornaram ao processo, estes resultados corroboram com os resultados obtidos nos gráficos de tempo e temperatura, que demonstram que a retirada do pacote único possibilitou que a temperatura crítica fosse atendida durante o tempo de retenção. A alteração no método de abastecimento de horizontal para vertical auxiliou para que a redução no % de reprocesso fosse ainda mais expressiva, pois reduziu cerca de 78% do reprocesso de caixas de pernis embalados em embalagem individual. Estas alterações foram primordiais para a melhoria do processo de congelamento e auxiliaram na manutenção da qualidade final do produto.

5.3. Tempo de retenção de barriga suína acondicionadas em caixas com diferentes dimensões e níveis de congelamento

As Figuras 11 e 12 apresentam as curvas de congelamento de barriga suína embaladas individualmente em filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) pigmentado, acondicionadas em caixa de papelão ondulado com montagem manual (475 mm de comprimento, 245 mm de largura, 205 mm de altura e 9 mm de espessura) e com montagem automática (515 mm de comprimento, 240 mm de largura, 205 mm de altura e 3 mm de espessura), nos níveis de congelamento 05 e 23, respectivamente. Durante o tempo de retenção houve movimentação das caixas dentro do nível.

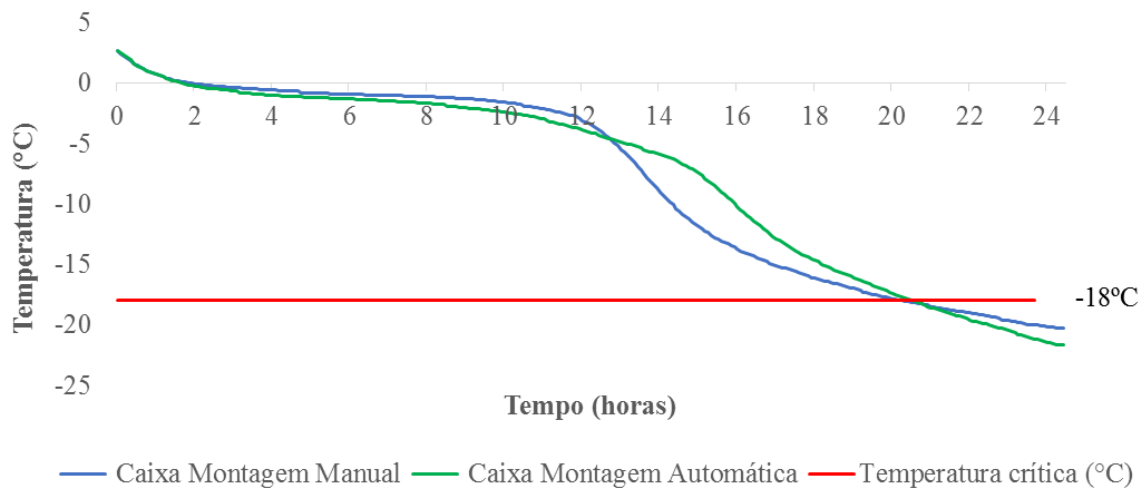


Figura 11: Perfil de congelamento de barriga suína acondicionada em caixa de papelão ondulado com montagem manual e automática no nível 05.

Os cortes de carne suína destinados à exportação devem atingir -18°C para atender a legislação vigente (BRASIL, 2004). Neste sentido analisando a Figura 11, observa-se que as amostras de barriga acondicionada em caixas com montagem automática atingem a temperatura crítica, de -18°C , com 20:30 h, quando posicionadas no nível 05. Já as amostras nas caixas com montagem manual o tempo necessário para atingir esta temperatura foi de 21:15 h, obtendo uma diferença de 45 minutos para caixas posicionadas nas mesmas condições de congelamento.

Avaliando a Figura 12, verifica-se a temperatura crítica foi atingida com 21:05 e 23:05 h, para as amostras acondicionadas nas caixas com montagem automática e manual, respectivamente e dispostas no nível 23, apresentando uma diferença no tempo de congelamento de 2 h.

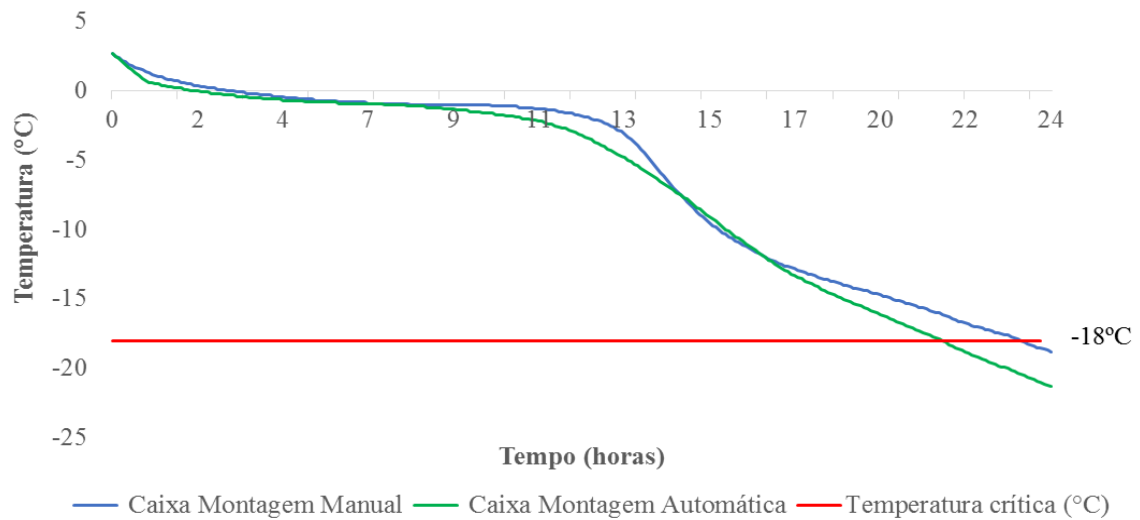


Figura 12: Curva de congelamento de barriga suína acondicionada em caixa de papelão ondulado com montagem manual e automática no nível 23.

A diferença do tempo de congelamento para as amostras de barriga congeladas nas caixas de montagem manual e automática, se deve principalmente ao fato de que a espessura da caixa de montagem manual é 6 mm maior do que para caixa de montagem automática, e por isso oferece maior resistência a transferência de calor por condução. Além disso, a condutividade térmica da barriga suína e da embalagem primária de PEBD é baixa, o que dificulta a transferência de calor e favorece a formação lenta de cristais de gelo quando utilizado técnicas de congelamento convencionais. O tempo de congelamento total do produto acondicionado em caixa automática foi menor do que para o produto acondicionado em caixa com montagem manual, o que pode ter reduzido o tamanho dos cristais formados e mantido as características do tecido muscular, aumentando a qualidade do produto final e possibilitando uma menor perda por exsudação.

Através destes experimentos foi possível a alteração na especificação de embalagem do item, onde foi retirado o uso da caixa com montagem manual (espessura de 9 mm) e padronizado apenas o uso da caixa com montagem automática (espessura de 3 mm).

A Figura 13 mostra o comparativo do congelamento de barriga suína em caixas automáticas entre os níveis 05 e 23.

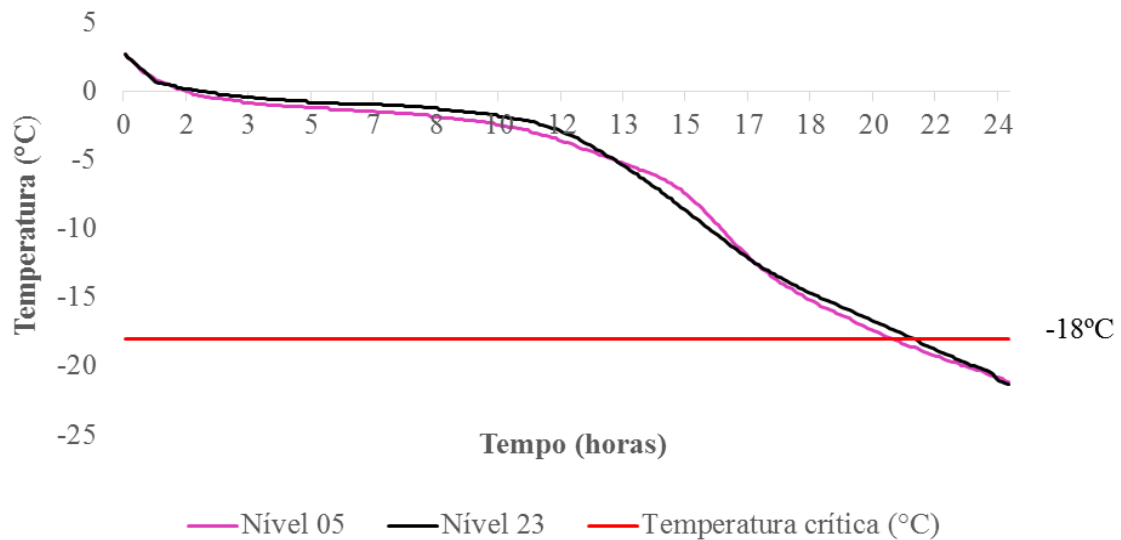


Figura 13: Curva de congelamento de barriga suína acondicionada em caixa de papelão ondulado com montagem automática nos níveis 05 e 23.

Comparando as caixas de montagem automática, quando posicionadas nos níveis 05 e 23 com movimentação durante o tempo de retenção, a temperatura crítica de -18°C foi atendida após 20:30 h para o nível 05 e em 21:05 h no nível 23, diferença de 35 minutos. De acordo com a localização dos ventiladores a temperatura ambiente do túnel deveria ser homogênea e influenciar da mesma maneira o tempo de congelamento dos produtos nas diferentes posições no túnel, no entanto os resultados obtidos demonstram que há diferenças de troca térmica entre os níveis de congelamento.

De acordo com Resende (2003), grandes variações nos coeficientes de transferência de calor convectivos, podem ocorrer em diferentes posições do produto no sistema de congelamento.

5.4. Diferenças na temperatura ambiente entre os níveis de congelamento

A Figura 14 a variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento, para os níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, durante as 54 h.

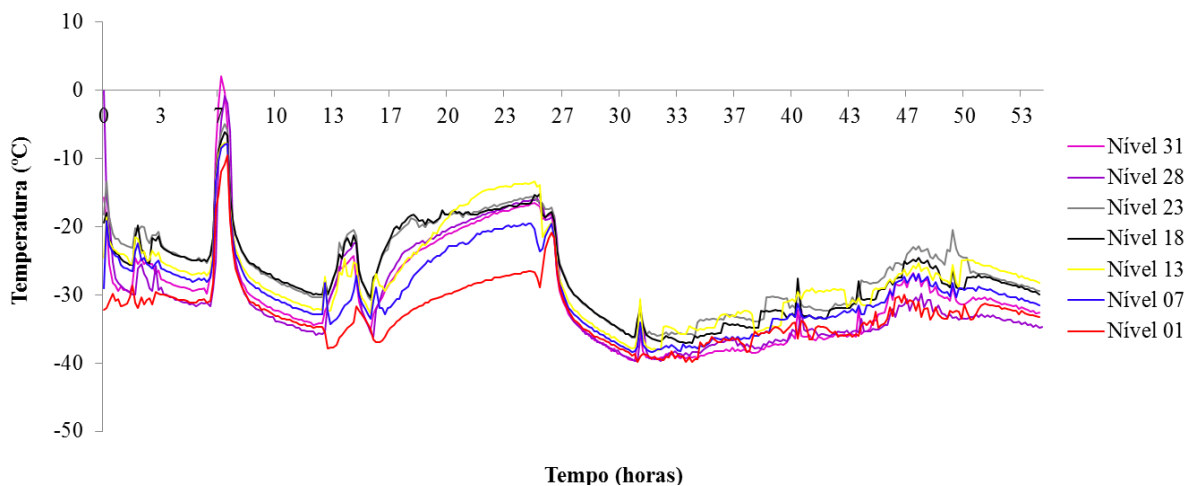


Figura 14: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, durante as 54 h.

Após 6 h de monitoramento verificou-se um aumento na temperatura de todos os níveis, sendo que neste período foi realizado o processo de degelo nos blocos de evaporação do túnel, o que explica este aumento na temperatura. Durante o procedimento de degelo em que não há convecção forçada, a temperatura ambiente atingiu 2°C no nível 31, enquanto que no nível 01 a temperatura atingiu -9,6°C, diferença de 11,6°C. Durante o degelo está atuando apenas a convecção natural, onde o ar quando aquecido sofre uma redução na densidade e assim, tende a subir, enquanto que o ar mais frio vem ocupar o seu lugar (BEJAN e KRAUS, 1989), o que explica a diferença de temperatura entre o nível mais alto e mais baixo do túnel.

Apesar do degelo ser um procedimento fundamental para a eficiência do processo, ocasiona flutuações de temperatura, com isso, pode ocasionar a recristalização da água e a formação de cristais de água na superfície do produto, o que conseqüentemente irá alterar a qualidade da carne, ressecando a sua superfície, comprometendo a coloração, sabor e textura, além de acarretar perda de peso.

A Tabela 2 apresenta as temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31. Verifica-se que a maior variação de temperatura (41,6°C) ocorreu no nível 31, a qual é impactada principalmente pela elevada temperatura durante o procedimento de degelo, já o nível 01 apresentou a menor variação (30,2°C), pois está localizado em uma região em que o degelo tem menor interferência conforme descrito anteriormente.

Tabela 2: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento durante o procedimento de degelo nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31.

Níveis	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C) ± Desvio Padrão	Diferença de Temperatura (°C)
31	2,0	-39,6	-30,2 ± 7,3	41,6
28	-0,8	-39,7	-30,8 ± 7,3	38,9
23	-4,9	-36,3	-26,4 ± 6,2	31,4
18	-6,1	-37,1	-27,0 ± 6,4	31,0
13	-7,7	-38,1	-27,5 ± 6,4	30,4
7	-7,8	-38,4	-29,9 ± 5,6	30,6
1	-9,6	-39,9	-32,8 ± 4,4	30,3

A partir dos resultados, optou-se por avaliar estes dados durante o processo normal de congelamento, neste caso, desconsiderando o tempo para degelo do túnel contínuo (Figura 15). Desta forma, a maior temperatura registrada foi de -20,5°C no nível 23, enquanto que no nível 01 foi de -29,9°C, diferença de 9,4°C entre os níveis avaliados, com variação de temperatura de 15,5 e 10,0°C, respectivamente, conforme descrito na Tabela 3. Durante este período, em que há atuação da convecção forçada, percebe-se que todos os níveis apresentam variações de temperatura similares de 9,9 a 13,3°C, exceto o nível 23, com variação de 15,5°C. Essa diferença demonstra a presença de canais preferenciais de escoamento de ar. Também percebe-se que as temperaturas médias dos níveis centrais estão abaixo do estipulado pela Portaria nº 711 de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995), a qual estabelece que os túneis de congelamento rápido devem funcionar entre -35°C a -40°C.

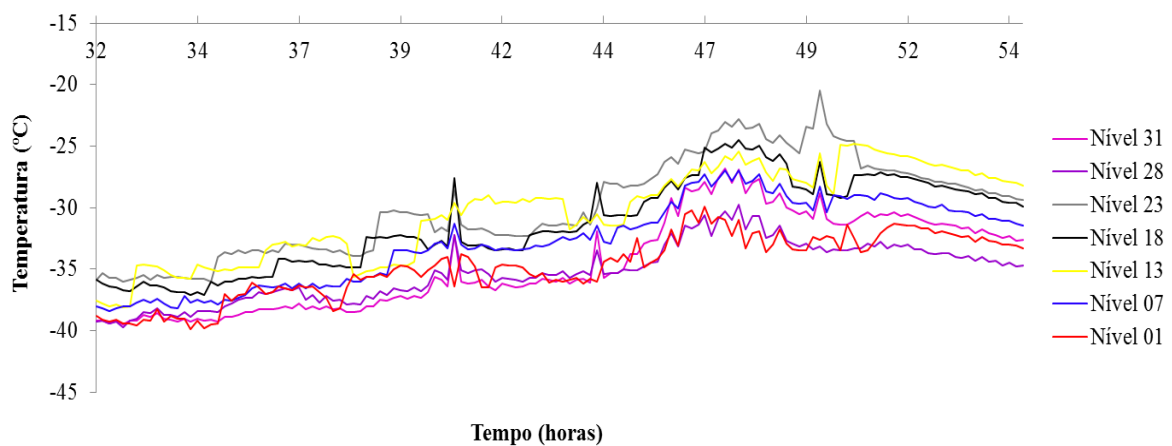


Figura 15: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento desconsiderando o degelo nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, durante o período de 32 a 54 h.

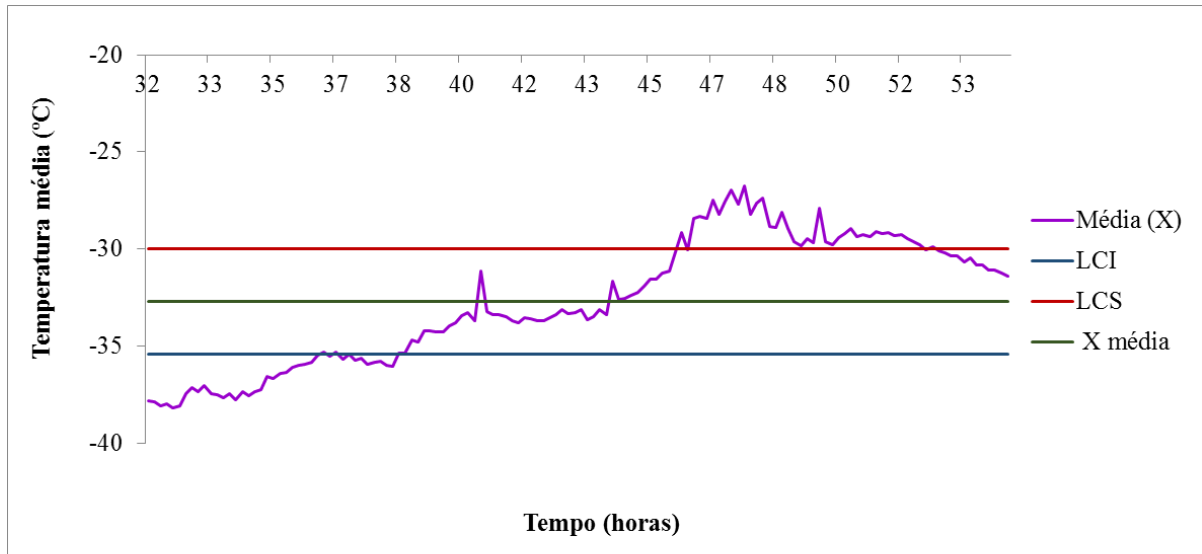
Tabela 3: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento desconsiderando o procedimento de degelo nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31.

Níveis	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C) ± Desvio Padrão	Diferença de Temperatura (°C)
31	-26,8	-39,5	-34,5 ± 4,8	12,7
28	-29,8	-39,7	-35,2 ± 3,8	9,9
23	-20,5	-36,0	-30,0 ± 4,7	15,5
18	-24,5	-37,1	-31,3 ± 4,5	12,6
13	-24,8	-38,1	-30,4 ± 4,5	13,3
7	-27,0	-38,4	-32,8 ± 4,4	11,4
1	-29,9	-39,9	-34,8 ± 3,9	10,0

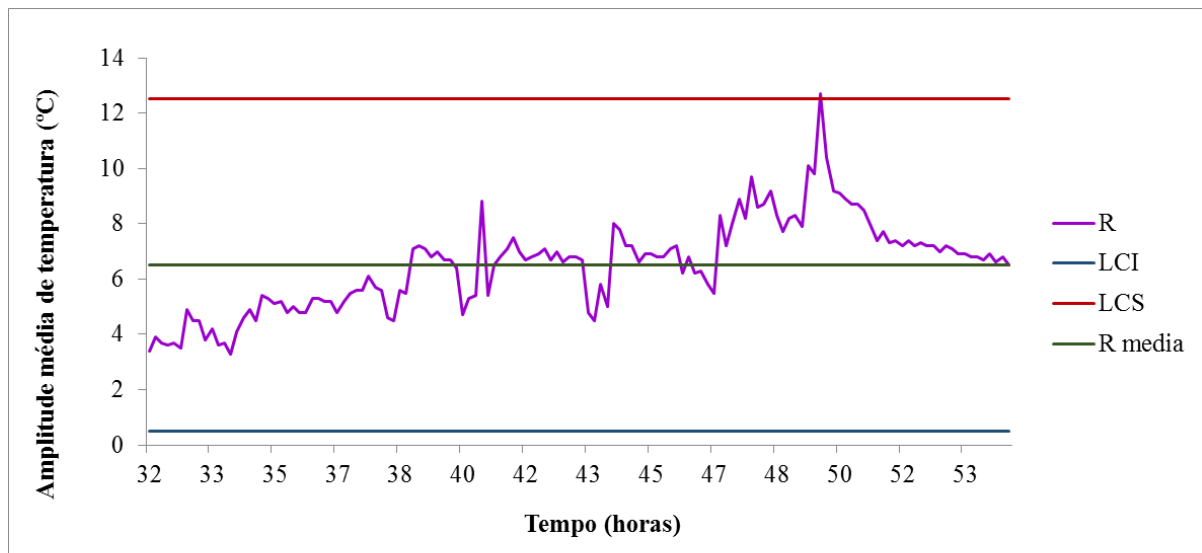
Para analisar a variabilidade da temperatura do túnel durante o tempo de congelamento dos produtos foram elaborados os gráficos de \bar{X} e R, onde apresentam os limites de controle superior (LCS) e inferior (LCI) do processo, obtidos a partir das médias amostrais e da amplitude dos dados de monitoramento da temperatura ambiente sem o processo de degelo dos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31 (Figura 16).

Analisando a Figura 16 (a), verifica-se que existem pontos abaixo do limite de controle inferior (LCI), do processo (-35°C) e acima do limite de controle superior (LCS), -30°C, assim como, dentro da faixa de -30 a -35°C observa-se, demonstrando que o processo não é estável ao longo do tempo avaliado e estando fora do limite estatístico (RIBEIRO e CATEN, 2012), sendo necessário investigar outros padrões de não aleatoriedade dos dados e indicando que existem causas especiais gerando variabilidade.

Em relação a amplitude (Figura 16 (b)), verifica-se que em torno de 50 h houve um ponto acima do limite superior. A causa desta variação, pode ser atribuída a um problema mecânico nos bloco de ventilação da região central do túnel, o qual impactou diretamente na troca térmica dentro do túnel, principalmente nos níveis 13, 18 e 23, como também pode ser avaliado na Figura 15.



(a)



(b)

Figura 16: Média (\bar{X}) e amplitude (R) da temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, considerando o processo de degelo.

Estes resultados indicam a necessidade de implementar ações corretivas para minimizar esta variação de temperatura (MONTGOMERY, 2012), Assim, foi realizada a análise geral do funcionamento dos ventiladores, onde foi identificado que o bloco de ventilação central do túnel estava danificado, este foi substituído, e instalado um sensor que emite um sinal luminoso para identificar/acusar falhas no sistema de ventilação (Figura 17), também foi realizado a aquisição de um ventilador reserva para substituição em caso de falhas e solicitado

aumento na demanda energética da unidade, de forma a reduzir variações durante horários de pico.



Figura 17: Sensor utilizado para identificar e emitir sinal luminoso para detecção de falhas no sistema de ventilação.

Após a implantação das ações de melhorias (substituição dos equipamentos danificados, instalação do sensor, aquisição de um ventilador reserva e solicitado aumento de demanda de energia), realizou-se novo acompanhamento da temperatura ambiente do túnel de congelamento, com as sondas novamente posicionadas nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, durante as 54 h. Porém, durante o experimento, a sonda posicionada no nível 31 foi danificada durante o tempo de retenção e os dados foram desconsiderados. A Figura 18 apresenta a variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28, durante 54 h, após a implantação das melhorias.

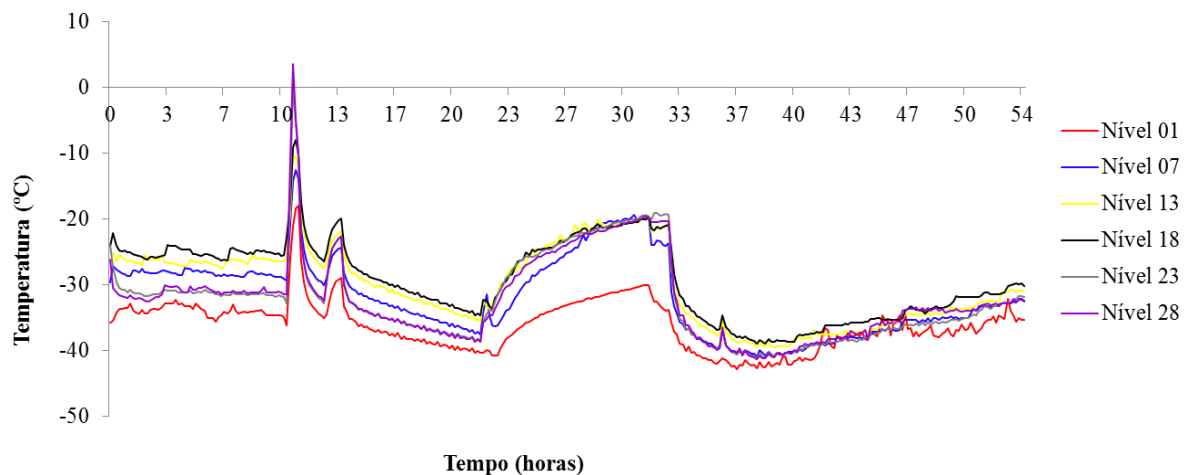


Figura 18: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28, durante 54 h, após a implementação das ações de melhorias.

Após 11 h de ativação do datalogger, a temperatura ambiente atingiu $3,5^{\circ}\text{C}$ no nível 28, enquanto que no nível 01 a temperatura atingiu -18°C , uma diferença de 20°C , aumento este devido a injeção de gás quente no bloco de evaporação, para a realização do procedimento de degelo.

Apesar do processo de degelo ser fundamental para a eficiência do sistema de congelamento, a flutuação da temperatura ambiente do túnel durante este processo, pode favorecer o descongelamento parcial do produto e com isso a formação de cristais de gelo na superfície podendo ocasionar queima pelo frio, ressecando a sua superfície, comprometendo a coloração, sabor e textura do produto e até mesmo podendo ocasionar a perda de peso, impactando negativamente na qualidade do produto.

Durante todo tempo de acompanhamento a temperatura mínima obtida foi de $-42,8^{\circ}\text{C}$ no nível 01, o nível que apresentou a maior temperatura mínima foi o nível 18, com $-38,9^{\circ}\text{C}$, o qual apresentou variação de $30,9^{\circ}\text{C}$. A temperatura média do nível 01 ficou em $-36,1^{\circ}\text{C}$, enquanto que para o nível 18, foi de $-29,2^{\circ}\text{C}$, apresentando uma diferença de $6,9^{\circ}\text{C}$ entre os níveis (Tabela 4).

Tabela 4: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento durante nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28 após a implantação das ações de melhorias.

Níveis	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média (°C) ± Desvio Padrão	Diferença de Temperatura (°C)
28	3,5	-41,3	-32,1 ± 6,6	44,8
23	0,5	-41,2	-32,2 ± 6,8	41,7
18	-8,0	-38,9	-29,2 ± 6,1	30,9
13	-10,4	-39,5	-30,0 ± 6,2	29,1
7	-12,6	-40,9	-31,8 ± 6,2	28,3
1	-18,0	-42,8	-36,1 ± 4,3	24,8

Quando considerando a operação normal de funcionamento do túnel, sem o procedimento de degelo, percebe-se uma menor dispersão dos dados, conforme a Figura 19 em relação ao experimento anterior a implementação das ações corretivas (Figura 15).

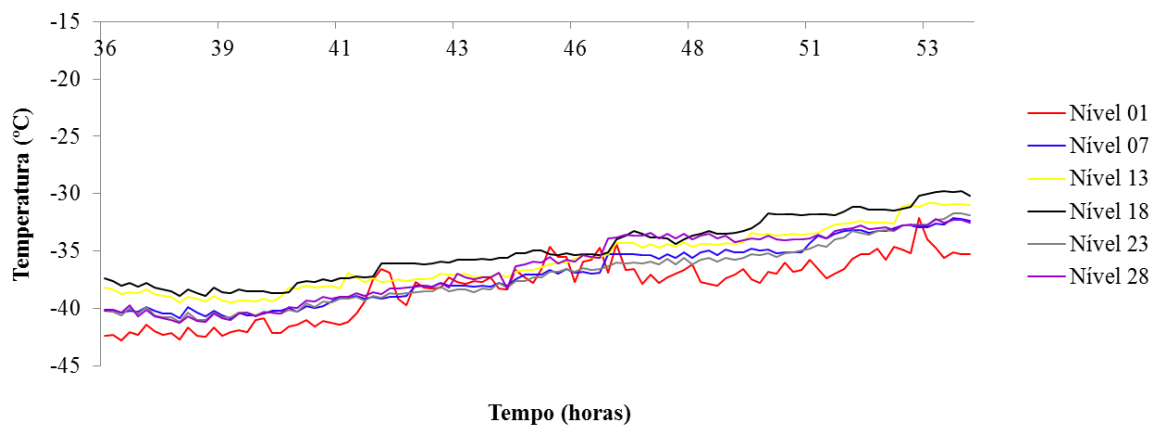


Figura 19: Variação de temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28, durante 54 h, após a implementação das ações de melhorias, desconsiderando o degelo.

Durante o período de acompanhamento da temperatura após a implementação das melhorias e desconsiderando o degelo, as temperaturas máximas registradas variaram de -29,8°C a -32,2°C, diferença de apenas 2,4°C entre os níveis avaliados, conforme pode ser observado na Tabela 5. As temperaturas médias obtidas entre os níveis variaram de -35,1 a -38,5°C, estando de acordo com o que preconiza a Portaria nº 711 de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995), a qual estabelece que os túneis de congelamento rápido devem funcionar entre -35°C a

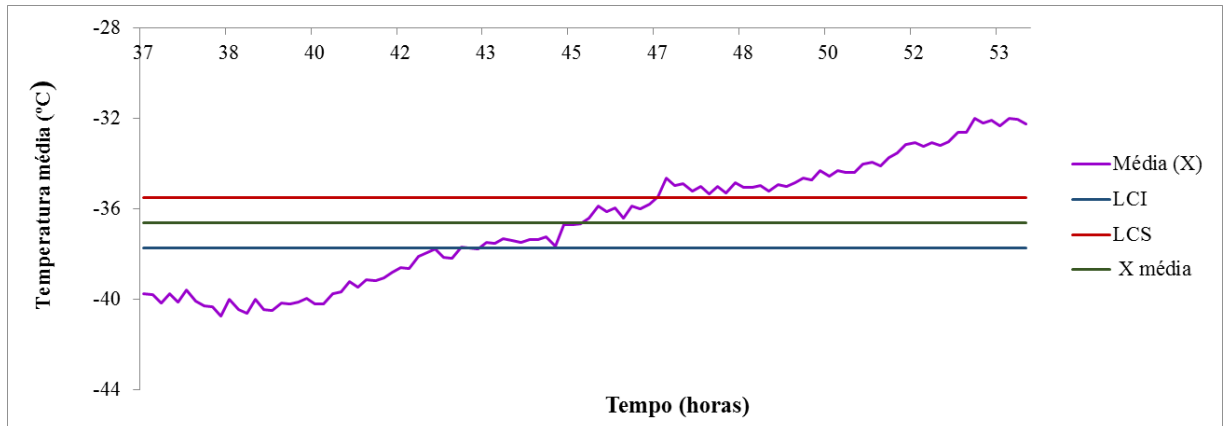
-40°C, o que demonstra que as adequações realizadas proporcionaram melhor uniformidade da temperatura entre os níveis.

Tabela 5: Temperaturas máximas, mínimas e médias obtidas no túnel de congelamento durante nos níveis 01, 07, 13, 18, 23 e 28 após a implantação das ações de melhorias desconsiderando o degelo.

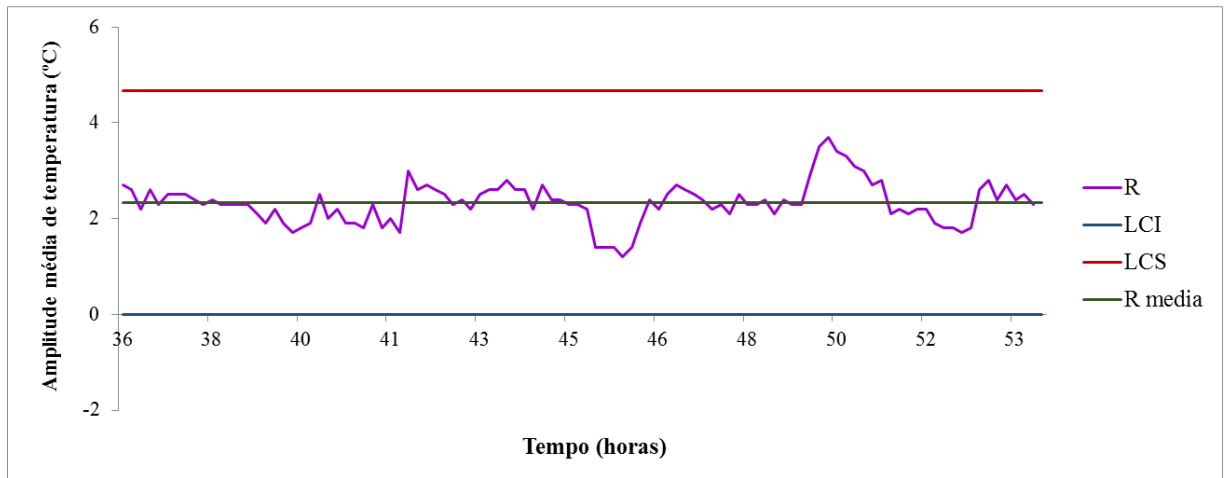
Níveis	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura média	Diferença de
			(°C)	Temperatura
			± Desvio Padrão	(°C)
28	-32,2	-41,3	-36,5 ± 3,0	9,1
23	-31,7	-41,2	-37,4 ± 2,7	9,5
18	-29,8	-38,9	-35,0 ± 2,7	9,1
13	-30,8	-39,5	-35,9 ± 2,6	8,7
7	-32,1	-40,9	-37,0 ± 2,7	8,8
1	-32,1	-42,8	-38,2 ± 2,6	10,7

Após a implementação das ações de melhorias no túnel de congelamento contínuo, foi realizada novamente o controle estatístico dos dados do processo avaliando os limites de controle superior (LCS) e inferior (LCI) e elaborados os gráficos de \bar{X} e R, apresentados na Figura 20, sem considerar o processo de degelo.

Analisando a Figura 20 (a), verifica-se que existem pontos abaixo do limite de controle inferior (LCI), do processo (-37,7°C) e acima do limite de controle superior (LCS), -35,5°C, assim como, dentro da faixa de -35,5 a -37,7°C percebe-se que apesar das adequações realizadas no processo, diversos pontos permanecem abaixo do limite de controle inferior (LCI) do processo, assim como outros pontos apresentam-se fora do limite de controle superior (LCS), mostrando que o processo permanece instável ao longo do tempo, permanecendo com diversas causas especiais. O que demonstra que é necessário que sejam realizadas demais ações dirigidas a estas causas, até que o processo se torne estável e previsível. Os pontos acima do limite de controle superior demonstram que são necessárias ações para correção destas causas, enquanto que os pontos abaixo do limite de controle inferior demonstram que houve melhoria no processo e que deve ser padronizada.



(a)



(b)

Figura 20: Média (\bar{X}) e amplitude (R) da temperatura ambiente no túnel de congelamento nos níveis 01, 07, 13, 18, 23, 28 e 31, sem o processo de degelo.

Apesar de apresentar pontos fora dos limites de controle, grande parte destes pontos encontram-se dentro dos limites especificados pela Portaria nº 711 de 1º de Novembro de 1995 (BRASIL, 1995), a qual estabelece que os túneis de congelamento rápido devem funcionar entre -35°C a -40°C .

Também é possível perceber que temperatura média do túnel é elevada conforme é realizado o abastecimento/ retirada dos produtos principalmente devido a retirada da carga térmica presente nos produtos, durante o processo de congelamento. Para manter todos os pontos dentro dos limites de controle, seria necessário um aumento na eficiência energética dos equipamentos, o que ocasionaria um aumento no consumo de energia do sistema.

O congelamento de alimentos de forma industrial é um processo extremamente complexo, principalmente pelo grande número de variáveis envolvidas. A eficiência do processo pode ser impactada pelo formato e composição química dos produtos, pela uniformidade da

temperatura inicial e quantidade de produtos a serem congelados, erros humanos, problemas mecânicos nos equipamentos, além de fatores externos, como picos de energia.

Em relação a amplitude (Figura 20 (b)), verifica-se que todos os pontos encontram-se dentro dos limites de controle, comprovando que as adequações realizadas melhoraram a uniformidade da temperatura entre os níveis.

Conforme Schultz (2019), se o processo for estável, as melhorias são sustentadas, as perdas e retrabalhos são reduzidos, o tempo e recursos são otimizados, além de que a qualidade do produto final é melhorada.

5.5. Espaços vazios nas bandejas do túnel de congelamento

O uso dos grampos plásticos permitiu que duas caixas (Figura 21) com capacidade de acondicionamento de produtos com peso inferior a 13,5 Kg, fossem agrupadas e posicionadas simultaneamente no túnel de congelamento, possibilitando a otimização de 395 posições/dia, o que equivale a cerca de 8.295 posições ao mês, reduzindo espaços vazios nas bandejas, além de caminhos preferenciais para o fluxo de ar, com isto o tempo de congelamento dos produtos pode ser reduzido, impactando positivamente na qualidade dos produtos.



Figura 21: Vista dos grampos plásticos utilizados para unir duas caixas de papelão.

Esta melhoria possibilitou o congelamento de aproximadamente 7.900 Kg/dia, o que equivale a cerca de 165.900 Kg/mês de produtos, o que auxiliou no atendimento da demanda por carne suína e na redução dos gastos energéticos.

6. CONCLUSÃO

Os estudos realizados demonstraram que o uso de embalagem secundária de PEBD de 10 mm de espessura em amostras de pernil suíno previamente embalados em embalagem primária de PEBD com 0,05 mm, aumenta a resistência à transferência de calor, fazendo com o tempo de retenção se torne insuficiente para o congelamento do produto. O uso apenas da embalagem de PEBD com espessura de 0,05mm e a alteração da posição da caixa de pernil dentro do nível, fez com que houvesse redução de 3,5 h no atendimento da temperatura crítica de -18°C , o que demonstrou ser um procedimento eficiente para a redução do tempo de retenção e na redução do percentual de reprocesso do item.

O uso de embalagem terciária de papelão ondulado, com maior dimensão de comprimento e menor dimensão de espessura, impactou em redução de 45 minutos no tempo de congelamento de barriga suína, quando posicionada no nível 05 e de 2 h quando posicionada no nível 23, o que demonstra que as o uso de embalagem terciária com maior espessura pode aumentar resistência à transferência de calor. Quando comparado o congelamento de amostras de barriga suína acondicionadas em caixas com montagem automática percebeu-se diferença no alcance da temperatura crítica entre o nível 05 e 23, onde que o nível 23 apresentou maior tempo para atingir a temperatura crítica.

Avaliando a temperatura ambiente dos diferentes níveis de congelamento, foi identificado que o bloco de ventilação posicionado na altura do nível 23, apresentava problemas mecânicos, o que estava impactando na eficiência de congelamento. Com as ações corretivas e preventivas nos equipamentos de ventilação, foi possível reduzir as diferenças de temperatura entre os níveis de congelamento, mostrando uma melhora na uniformidade da temperatura entre os níveis de congelamento, o que representou uma redução da diferença de temperatura máxima obtida entre os níveis de $9,4^{\circ}\text{C}$ para apenas $2,4^{\circ}\text{C}$.

Através da análise de controle de processo foi possível perceber que apesar das melhorias ainda são necessárias mais ações para melhorar a eficiência dos equipamentos, o que irá fazer com que o processo de congelamento se torne estável e previsível, reduzindo ainda mais perdas, retrabalhos e melhorar a qualidade do produto final.

O uso dos grampos plásticos também se mostrou uma estratégia viável para a otimização de 395 posições/dia e para reduzir os espaços vazios nas bandejas, o que auxilia no atendimento da temperatura crítica e na redução do percentual de reprocesso dos produtos.

Todas as estratégias testadas e implementadas neste presente trabalho, como a alteração no padrão de embalagem, alteração no método de abastecimento das caixas no túnel con-

tínuo, melhorias no sistema de ventilação e na otimização das posições de congelamento, auxiliaram na redução do tempo de congelamento dos cortes e consequentemente no tempo de retenção do produto no túnel e no percentual de reprocesso de todos os cortes produzidos pela agroindústria e não apenas para os cortes de pernil e barriga avaliados. Essa redução no tempo de congelamento dos produtos pode reduzir o tamanho dos cristais formados durante o processo e auxiliar na manutenção das características do tecido muscular, aumentando a qualidade do produto final, além de reduzir gastos energéticos desnecessários.

Estas ações também foram fundamentais para possibilitar o atendimento da alta demanda de venda de carne suína, trazendo resultados monetários expressivos para a empresa e acima de tudo, assegurando a qualidade do produto final, o que impacta positivamente na satisfação do cliente e no atendimento das legislações.

7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABPA - Associação de Proteína Animal. **Relatório Anual 2021**. 2021. Disponível em: <<https://abpa-br.org/relatorios/>>. Acesso em: 25 de Maio 2021.

ABPA - Associação de Proteína Animal. **Perfil de consumo e panorama do setor de proteínas no Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://abpa-br.org/pesquisa-da-abpa-aponta-consumo-de-proteina-animal-em-985-dos-lares/>>. Acesso em: 08 de Novembro de 2021.

ABCS – Associação Brasileira de Criadores de Suínos. **Brasileiros tem aumentado o consumo per capita de carne suína**. 2021. Disponível em: <<https://abcs.org.br/noticia/brasileiros-tem-aumentado-o-consumo-per-capita-de-carne-suina/>>. Acessado em: 07 de Novembro de 2021.

ALMEIDA, C. S.; RODRIGUES, J. D.; BARBOSA, L.C. R.; SOUZA, R. S. **Controle Estatístico do Processo (CEP)**. Trabalho de conclusão de curso - Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio. ITU, 2011.

ARAGÃO, A. CONTINI, E. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>>. Acessado em: 01 de Novembro de 2021.

ASHRAE, **Food Storage and Equipment, Food Refrigeration**. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Refrigeration Handbook. Atlanta, 1998.

ASHRAE, **Thermal Properties os Foods**, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Refrigeration Handbook. Atlanta, 1989.

BARÃO, M. Z. **Dossiê técnico: Embalagens para produtos alimentícios**. BRT: Serviço de Brasileiro de Respostas Técnicas. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR, 2011. Disponível: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MQ==>>. Acessado em: 06 de outubro de 2021.

BEJAN, A.; KRAUS, A. D. **Heat Transfer Handbock**, John Wiley. Durham, 2003.

BERTOL, T. M. **Estratégias nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína**. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Editora técnica, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/206384/1/final8892.pdf>>. Acessado em: 22 de janeiro de 2022.

BRASIL, Resolução RDC nº 91, de 11 de Maio de 2001. **Aprova o “Regulamento técnico: Critérios gerais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos”**. Órgão emissor: ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-91-de-11-de-maio-de-2001.pdf/view>>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.

BRASIL, Resolução RDC nº 216, de 15 de Setembro de 2004. **Estabelece procedimentos de boas práticas para serviço de alimentação, garantindo as condições higiênico-sanitárias do alimento preparado**. ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de Setembro de 2004. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html>. Acessado em: 07 de Novembro de 2021.

BRASIL, Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (BR). Portaria Nº 711, de 1º de Novembro de 1995. **Aprova as normas técnicas de instalações e equipamentos para abate e industrialização de suínos**. Diário Oficial da União, Brasília, 03 de Novembro de 1995.

BRASIL, Gerência Geral de Alimentos. **Perguntas e Respostas sobre Materiais em Contato com Alimentos: Manual de orientação**. Diário Oficial da União. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/alimentos/perguntas-e-respostas/embalagens-materiais-em-contato-com-alimentos.pdf>>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.

CAMPAÑONE, L. A.; SALVADORI, V. O.; MASCHERONI, R. H. **Weight loss during freezing and storage of unpackaged foods**. Journal of Food Engineering, Canadá, 2001.

CHEN, Y. L.; PAN, B. S. **Morphological changes in tilapia muscle following freezing by airblast and liquid nitrogen methods**. International Journal of Food Science and Technology, 1997.

CUSTÓDIO, L. G. **Influência do congelamento, temperatura e tempo de estocagem na qualidade de carne bovina**. Dissertação (Pós- Graduação) - Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

DALAVECHIA, A. L. **Otimização da performance de congelamento de produtos frigoríficos em túneis contínuos**. Monografia (Pós-Graduação). Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Panambi. 2017.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1989.

FEITOSA, T. **Contaminação, conservação e alteração da carne**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1999.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e práticas**. São Paulo: Artmed, 2006.

FLÓRIO, B. **Gás quente é opção eficiente de degelo**. FIC FRIO, 2017. Disponível em: <<https://ficfrio.com.br/index.php?pgid=3&id=111>>. Acessado em: 11 de Setembro de 2021.

FREITAS, A. C.; FIGUEIREDO, P. **Conservação por Utilização de Baixas Temperaturas**. Conservação de Alimentos. Lisboa, 2000.

GARCIA, D. M. **Análise da atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola**. Dissertação (Pós- Graduação) – Programa de Pós Graduação em Ciências Veterinárias, Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GOMES, R. L. **Controle de processos produtivos em uma indústria de alimentos**. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

GONÇALVES, J. R. **Classificação de Embutidos Cárneos**. Princípios do processamento de embutidos cárneos. Campinas: Centro de tecnologia de carnes – ITAL, 2002.

GRYCZAK, M. **Estudo do uso de polietileno de baixa densidade reciclado na mitigação dos impactos ambientais gerados pela drenagem ácida provenientes da mineração de carvão do Sul de Santa Catarina**. Tese (Pós-Graduação) – Programa de Pós-Graduação em ciência dos materiais, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. **Handbook of Food Engineering**, New York: Marcel Dekker, 1992.

HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of food processing**. Gaithersburg: Aspen Publishers, 1998.

HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. **Food Freezing**. Handbook of Food Engineering. 2^a ed. Boca Raton: CRC Press, 2007.

HOLMAN, J. P. **Transferência de calor**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill do Brasil, 1983.

HUANG, L.; XIONG, Y. L.; KONG, B.; HUANG, X.; LI, J. **Influence of storage temperatura and duration on lipid and proteis oxidation and flavour changes in frozen pork dumpling filler**. Meal Science, 2013.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentos de transferência de calor e de massa. 5ª ed. São Paulo: LTC, 2003.

ISO - International Organization for Standardization; ISO/TC 69. **Applications of Statistical Methods - Shewhart Control Charts - ISO 8258:1991.** Ed. ISO, 1991.

IIR – Internacional institute of refrigeration. **Recomendation for chilled storage of perishable produce.** Paris, 2006.

JOHNSON, C. **Manual técnico de operação Túnel de Retenção Variável York – MRT.** 2014.

KAZMIER, L. J. **Estatística Aplicada à Administração e Economia.** 4ª ed. - Coleção Schaum. Bookman, 2007.

KARLSDOTTIR, M. G.; SVEINSDOTTIR, K.; KRISTINSSON, H. G.; VILLOT, D.; CRAFT, B. D.; ARASON, S. **Effect of thermal treatment and frozen storage on lipid decomposition of light and dark muscles of saithe (*Pollachius virens*),** 2014.

LUSTOSA, L; COSTA, H. C.; MESQUITA, M. A.; QUELHAS, O. L. G.; GOMES, S. V.; GUTIÉRREZ, R. H. **Planejamento e Controle da Produção.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MACHADO, I. P. **Exportação recorde em março e tendência de recuperação dos preços do suíno em Abril.** ABCS – Associação Brasileira de criadores de suínos. 2021. Disponível em: <<https://abcs.org.br/noticia/exportacao-recorde-em-marco-e-tendencia-de-recuperacao-dos-precos-do-suino-em-abril/>>. Acessado em: 01 de Novembro de 2021.

MACHADO, I. P. **Brasileiros tem aumento o consumo per capita de carne suína.** ABCS – Associação Brasileira de criadores de suínos. 2021. Disponível em:<<https://abcs.org.br/noticia/brasileiros-tem-aumentado-o-consumo-per-capita-de-carne-suina/>>. Acessado em: 01 de Novembro de 2021.

MARINI, G. A.; BAINY, E. M.; LENZI, M. K.; CORAZZA, M. L.; **Freezing and thawing of processed meat in na industrial freezing tunnel.** Acta Scientiarum. Technology, v. 36, 2014.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control.** New York: John Wiley and Sons, 1985.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to Statistical Quality Control.** 7ª Edition. New York: John Wiley and Sons, 2012.

NEVES, J. F.; NEVES, C. N. P.; SANTOS, F. M.; ROBBS, G. K.; ROBBS, P. G. **Controle estatístico de Processo.** Dzetta – Projetos, Consultorias e Treinamentos Ltda. Niterói, 2009.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos de Origem Animal**. Vol. 2. São Paulo: Artmed, 2005.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. Tecnologia na sua obtenção e transformação. 2ª edição. Goiânia:: UFG, Vol. 01, 2001.

PEARCE, K. L.; ROSENVOLD, K.; ANDERSEN, H. J.; HOPKINS, D. L. **Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes a review**. Meat Science. 2011.

RAHMAN, M. S.; MACHADO-VELASCO, K. M.; SOSA-MORALES, M. E., VELEZRUIZ, J.F. **Food properties handbook**. 2ª edição. Boca Raton: CRC Press, 2009.

RAMAKRISHNAN. S.; WYSK, R. A.; PRABHU, V. V. **Prediction os process parameters for intelligent control of tunnel freezers using simulation**. Journal of Food Engineering. Vol. 65. 2004.

RESENDE, J. V.; SILVEIRA JÚNIOR, V.; NEVES FILHO, L. C. **Experimental measures of the effective heat transfer coefficients in air blast freezers for the processing of fruit pulps**. Curitiba: Engenharia Térmica, 2003.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN, C. S. T. **Série monográfica Qualidade Controle Estatístico do Processo**. Porto Alegre: Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ROÇA, R. O. **Tecnologia da carne e produtos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2000.

SAMOHYL, R. W. **Controle estatístico da qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTOS, C. A. **Estudo da transferência de calor durante o congelamento de cortes de aves em caixas de papelão ondulado**. Dissertação (Pós- Graduação) – Centro tecnológico, Programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SANTOS, G. Z. **Avaliação do comportamento de diferentes itens de cortes de frangos durante o congelamento**. Dissertação (Pós-Graduação) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2018.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. **Embalagens para Produtos Cárneos**. Campinas: CETE/ITAL, 1991.

SCHULTZ, F. **Controle estatístico de processo: o que é o CEP e para que serve.** Bom Controle, 2019. Disponível em < <https://blog.bomcontrole.com.br/controle-estatistico-processo-cep/>>. Acessado em: Setembro/2021.

SHIMOKOMAKI, M.; OLIVO, R. TERRA, N. N.; MELO, B. D. G. F. **Atualidades em ciência e tecnologia de carnes.** São Paulo: Varela, 2006.

SILVA, J. A. **Tópicos da tecnologia de alimentos.** São Paulo: Livraria Varela, 2000.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Food Freezing.** Introduction to Food Engineering, 3ª edição. New York: Academic Press, 2001.

SOARES, W. A. S. **Seis Sigma como estratégia para redução de retrabalho na indústria de alimentos: estudo de caso de batatas pré-fritas congeladas.** Dissertação (Pós Graduação) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Viçosa, 2017.

SOUTHGATE, D. **Conservación de frutas e horatizas.** 14ª edição. Zaragoza: ACRIBA S. A, 1992.

SOUZA, S. A. **Avaliação dos efeitos de diferentes temperaturas de congelamento e armazenamento sobre características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais de linguiça suína tipo frescal.** Dissertação (Pós-Graduação) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2014.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial.** 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

SUINOCULTURA. **Peste Suína.** Revista Suinocultura.com.br. 2021. Disponível em: <<https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/peste-suina-africana-60-dos-rebanhos-chineses-dizimados-nos-ultimos-tres-anos/20210505-163122-y878>>. Acessado em: 07 de Novembro de 2021.

VAPORTEC. **Degelo em sistemas de amônia.** VAPORTEC, Tecnologia Industrial 2020. Disponível em: <https://www.vaportec.com.br/ind/2020/07/06/degelo-a-gas-quente-em-sistemas-de-amonia/>. Acessado em: 07 de Novembro de 2021.

VIEIRA, E. T. T. **Influência do processo de congelamento na qualidade do peito de frango.** Dissertação (Pós-Graduação) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2007.

THANONKAEW, A.; BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; DECKER, E. A. **The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles.** Food chemistry. 2006.

TOLEDO, J. C.; ALLIPRANDINI, D. H. **Controle estatístico da Qualidade**. São Carlos. 2004.

TRAVASSOS, G. F.; COELHO, A. B. **Padrão de Substituição entre Carnes no Consumo Domiciliar do Brasil**. Piracicaba: Revista de Economia e Sociologia Rural, vol. 55. 2017.

USDA. **Foreign Agricultural Service**. United States Department of Agriculture. 2021. Disponível em:<

<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/reporhandler.ashx?reportId=2660&templateId=7&format=html&fileName=Pork%20Production%20-%20Top%20Countries%20Summary>>. Acessado em 07 de Novembro de 2021.

USDA. **United States USDA national nutrient database for standard reference**. Department of Agriculture. Release 28. Washington, DC, 2018. Disponível em: <<https://data.nal.usda.gov/dataset/usda-national-nutrient-database-standard-reference-legacy-release>>. Acessado em 22 de Janeiro de 2022.

ZARITZKI, N. E. **Factors affecting the stability of frozen foods**. Managing frozend foods. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000.

ANEXO I

Tabela 6: Valores das constantes para cálculo dos limites de controle.

n	Fatores para Limites de Controle									Fatores para Linha Central					
	A	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	c ₄	1/c ₄	d ₂	1/d ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,798	1,253	1,128	0,887
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,886	1,128	1,693	0,591
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,921	1,085	2,059	0,486
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,940	1,064	2,326	0,430
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,952	1,051	2,534	0,395
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959	1,042	2,704	0,370
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965	1,036	2,847	0,351
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969	1,032	2,970	0,337
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,973	1,028	3,078	0,325
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975	1,025	3,173	0,315
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,978	1,023	3,258	0,307
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979	1,021	3,336	0,300
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,593	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981	1,019	3,407	0,294
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982	1,018	3,472	0,288
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,984	1,017	3,532	0,283
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,985	1,016	3,588	0,279
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,985	1,015	3,640	0,275
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,986	1,014	3,689	0,271
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,987	1,013	3,735	0,268
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,988	1,013	3,778	0,265
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,988	1,012	3,819	0,262
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,989	1,011	3,858	0,259
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,989	1,011	3,895	0,257
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,990	1,011	3,931	0,254

Fonte: ISO 8258 - *Shewhart control charts*.