

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
ALIMENTOS**

Francieli Damo

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DA PROTEÍNA DE EMBUTIDOS
CÁRNEOS EM TRIPAS PLÁSTICAS**

**FLORIANÓPOLIS-SC
2014**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Damo, Francieli

Estudo da Aderência da Proteína de Embutidos Cárneos em
Tripas Plásticas / Francieli Damo ; orientadora, Sandra
Regina Salvador Ferreira - Florianópolis, SC, 2015.
109 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. I. Salvador Ferreira,
Sandra Regina . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos. III. Título.

Francieli Damo

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DA PROTEÍNA DE EMBUTIDOS
CÁRNEOS EM TRIPAS PLÁSTICAS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia de
Alimentos como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Alimentos.
Orientadora: Profa. Dra. Sandra Regina
Salvador Ferreira.

Florianópolis-SC
2014

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Sandra Regina Salvador Ferreira, pelo apoio, compreensão, orientação, incentivo, positividade, flexibilidade, e, principalmente, pela confiança, fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos colegas de trabalho e amigos, em especial, Bruna Bonato, Franciele Saorin e Eloi Moraes, pela grande ajuda prestada nos testes na planta piloto e no laboratório de embalagens.

Aos gestores da BRF, principalmente Geraldo Cofcewicz, pelo entendimento, pela oportunidade e viabilização do estudo, e por disponibilizar o laboratório de embalagens e o laboratório físico-químico para a realização dos ensaios.

À Empresa SPEL Embalagens, pelo fornecimento das amostras das tripas de poliamida.

Ao Fabrízio Di Girolamo, por acreditar no trabalho e pela discussão dos resultados.

À Empresa Dupont, pelo auxílio na realização de alguns ensaios de caracterização.

Aos ex-colegas de trabalho, Giovani Rissi e Jair Fernandes, pela convivência que tivemos e pelo incentivo dado.

À minha grande amiga Luisa Gené, por me motivar e acreditar em mim.

Ao colega Paulo Guarnieri, pelas longas discussões técnicas e valiosas colaborações.

À minha mãe Lucia, pela vida e dedicação.

Aos meus irmãos que estiveram sempre ao meu lado compartilhando meu ideal, pelo estímulo e carinho dedicados.

À minha sogra Liège, pela ajuda, amizade e pela sincera torcida.

Ao meu filho Vinícius, razão de todo o meu esforço.

Ao meu marido Eduardo, por acreditar e compreender, incentivando-me a prosseguir.

A todos que, mesmo indiretamente, participaram e contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO | 15 |
| CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 EMBUTIDOS CÁRNEOS..... | 21 |
| 2.2 PRODUÇÃO BRASILEIRA DE EMBUTIDOS CÁRNEOS.... | 22 |
| 2.3 FORMAÇÃO DA EMULSÃO..... | 25 |
| 2.3.1 Composição Muscular | 25 |
| 2.3.2 Proteínas Musculares | 26 |
| 2.3.3Processamento da Carne | 30 |
| 2.4 ENVOLTÓRIOS ARTIFICIAIS..... | 43 |
| 2.4.1 Tripas Plásticas | 44 |
| 2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas | 51 |
| 2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas | 58 |
| 2.4.4 Aderência da Proteína da Carne na Tripa Plástica..... | 60 |
| 2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL..... | 64 |
| CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS..... | 66 |
| 3.1. MATERIAL..... | 66 |
| 3.2 MÉTODOS..... | 66 |
| 3.2.1 Delineamento Experimental | 67 |
| 3.2.2 Preparo das Tripas Plásticas | 68 |

| | |
|---|----|
| 3.2.3 Preparo da Emulsão Cárneo | 68 |
| 3.2.4 Embutimento | 71 |
| 3.2.5 Cozimento e Resfriamento | 71 |
| 3.3 ANÁLISES | 72 |
| 3.3.1 Caracterização da Tripa Plástica | 72 |
| 3.3.2 Análises Físico-Químicas do Produto | 76 |
| 3.3.3 Força de Aderência da Proteína da Carne | 76 |
| 3.3.4 Gramatura da Proteína da Carne Aderida à Tripa | 78 |
| 3.3.5 Análise Estatística | 79 |
| CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO | 81 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA TRIPA PLÁSTICA | 81 |
| 4.1.1 Tensão Superficial | 81 |
| 4.1.2 Calorimetria Diferencial de Varredura | 82 |
| 4.1.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier | 86 |
| 4.1.4 Microscopia Ótica | 90 |
| 4.1.5 Ensaios de Resistência Mecânica | 93 |
| 4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO | 97 |
| 4.3 ESTUDO DA ADERÊNCIA DA PROTEÍNA DE EMULSÃO CÁRNEA EM TRIPAS PLÁSTICAS | 98 |
| 4.3.1 Força de Aderência da Proteína da Carne | 98 |

| | |
|---|-----|
| 4.3.2 Gramatura da Proteína da Carne Aderida à Tripa..... | 101 |
| CAPÍTULO V – CONCLUSÕES | 103 |
| CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 105 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Conceito de valor percebido do produto pelo consumidor..... | 16 |
| Figura 2. Produção total de frios e embutidos em 2011 separados por produto..... | 23 |
| Figura 3. Produção total de frios e embutidos em 2011 e 2012..... | 24 |
| Figura 4. Produção total de Mortadela, Afiambrado e Apresuntado em 2011 e 2012..... | 25 |
| Figura 5. Organização da fibra muscular | 28 |
| Figura 6. Estrutura primária da proteína..... | 28 |
| Figura 7. Estrutura de proteína α -hélice e folha pregueada β | 29 |
| Figura 8. Disposição espacial da estrutura terciária..... | 29 |
| Figura 9. Modelo da estrutura quaternária da hemoglobina humana..... | 30 |
| Figura 10. Etapas que envolvem o processamento da carne..... | 31 |
| Figura 11. Moedor industrial..... | 32 |
| Figura 12. Estrutura química do tripolifosfato de sódio usado no processamento de carne..... | 33 |
| Figura 13. Misturadeira planetária..... | 36 |
| Figura 14. Antes da hidratação cadeia de Nylon com massa molecular MM e após hidratação massa molecular $\frac{1}{2}$ MM; à esquerda e à direita, respectivamente..... | 37 |
| Figura 15. Equipamento para embutimento e fechamento do produto..... | 38 |
| Figura 16. Produto embutido fechado através de fio amarrado..... | 39 |
| Figura 17. Produto embutido fechado através de grampo metálico | 39 |
| Figura 18. Produto embutido pendurado na gaiola..... | 40 |
| Figura 19. Exemplo de estufa para cozimento estático..... | 40 |
| Figura 20. Exemplo da proteína antes e depois da desnaturação.... | 41 |
| Figura 21. Exemplo de unidade constitucional do Polietileno..... | 45 |
| Figura 22. Polímero do Nylon 6..... | 46 |
| Figura 23. Polímero do Nylon 6.6..... | 46 |
| Figura 24. Polímero de Polietileno..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 25. Diferenças entre as cadeias do PEBD, PEAD e PEBDL (à esquerda, centro e direita, respectivamente)..... | 48 |
| Figura 26. Estrutura química dos monômeros que formam o Etileno (à esquerda) e Ácido Acrílico (à direita)..... | 49 |
| Figura 27. Estrutura química do ionômero de etileno e acrilato de sódio..... | 50 |
| Figura 28. Estrutura química do ionômero parcialmente neutralizado..... | 50 |
| Figura 29. Canetas com concentração das soluções de formamida – etileno glico monoetil éter usada para medir a tensão superficial..... | 51 |
| Figura 30. Superfície sólida molhada pela fase líquida..... | 53 |
| Figura 31. Diagrama esquemático de um ângulo de contato de uma gota líquida sobre uma superfície sólida..... | 53 |
| Figura 32. Espectro no infravermelho do Polietileno..... | 55 |
| Figura 33. Espectro no infravermelho do Nylon..... | 55 |
| Figura 34. Espectro no infravermelho do Ionômero..... | 56 |
| Figura 35. Estrutura básica de tripa com cinco camadas e PA na camada interna..... | 59 |
| Figura 36. Estrutura básica de tripa com cinco camadas e PE na camada interna..... | 60 |
| Figura 37. Estrutura básica de tripa com cinco camadas e PA + Ionômero na camada interna..... | 60 |
| Figura 38. União de dois aminoácidos via ligação peptídica..... | 61 |
| Figura 39. Degradação das proteínas e peptídeos..... | 61 |
| Figura 40. Intensidade de adesão entre a camada de contato dos polímeros mais utilizados para tripas plásticas e produtos cárneos..... | 63 |
| Figura 41. Procedimento para um planejamento experimental..... | 65 |
| Figura 42. Etapa de hidratação da tripa..... | 68 |
| Figura 43. Peito de frango inteiro (à esquerda) e moído em disco de 5mm (à direita)..... | 69 |
| Figura 44. Peito de frango moído em disco de 5mm com | 69 |

| | |
|---|-----|
| temperatura abaixo de 4°C..... | |
| Figura 45. Mistura dos ingredientes na misturadeira..... | 70 |
| Figura 46. Emulsão cárnea com temperatura até +12°C..... | 70 |
| Figura 47. Cozimento do produto..... | 71 |
| Figura 48. Dinamômetro Universal de Ensaio, marca <i>INSTRON</i> , modelo 5565..... | 75 |
| Figura 49. Ângulo de remoção (90°) do corpo-de-prova aderido à placa de ensaio..... | 77 |
| Figura 50. Preparação da amostra - corte..... | 77 |
| Figura 51. Ajuste da peça no equipamento antes de iniciar o ensaio..... | 78 |
| Figura 52. Obtenção do corpo de prova para medição da gramatura de massa aderida na tripa, após análise de força de aderência..... | 79 |
| Figura 53. Gráfico de DSC referente à tripa plástica com PA na camada interna..... | 83 |
| Figura 54. Gráfico de DSC referente à tripa plástica com PE na camada interna..... | 84 |
| Figura 55. Gráfico de DSC referente à tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna..... | 85 |
| Figura 56. Espectro de infravermelho da tripa plástica com PA na camada interna..... | 86 |
| Figura 57. Espectro de infravermelho da tripa plástica com PE na camada interna..... | 88 |
| Figura 58. Espectro infravermelho da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna..... | 89 |
| Figura 59. Microscopia estrutural da tripa plástica com PA na camada interna..... | 91 |
| Figura 60. Microscopia estrutural da tripa plástica com PE na camada interna..... | 91 |
| Figura 61. Microscopia estrutural da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna..... | 92 |
| Figura 62. Perfil da intensidade da força de aderência entre a camada de contato dos polímeros e a emulsão cárnea da Formulação 1 e Formulação 2..... | 100 |

Figura 63. Perfil da intensidade da gramatura aderida à camada de contato entre os polímeros e a emulsão cárnea da Formulação 1 e Formulação 2..... 102

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1. Composição química do músculo de um mamífero adulto depois do Rigor Mortis e antes das alterações degenerativas Post-mortem..... | 26 |
| Tabela 2. Principais proteínas em um músculo magro de frango – base de 19% de proteína total..... | 27 |
| Tabela 3. Concentração das soluções de formamida – etileno glicol monoetil éter de acordo com a tensão de umectação..... | 52 |
| Tabela 4. Estruturas de tripas plásticas em função da camada interna..... | 57 |
| Tabela 5. Descrição da Formulação 1..... | 67 |
| Tabela 6. Concentrações de Formamida e Etileno glicol monoetil utilizadas para medir a tensão superficial das tripas plásticas..... | 73 |
| Tabela 7. Resultado de tensão superficial das tripas plásticas com diferentes camadas internas..... | 82 |
| Tabela 8. Resultados das análises de DSC das tripas plásticas com diferentes camadas internas..... | 86 |
| Tabela 9. Composição das tripas plásticas com diferentes camadas internas através da análise de FTIR..... | 90 |
| Tabela 10. Composição das tripas plásticas conforme Microscopia Ótica..... | 93 |
| Tabela 11. Resultados das análises de caracterização mecânica das tripas plásticas de acordo com a camada interna..... | 94 |
| Tabela 12. Resultados das Análises Físico-Químicas dos produtos com emulsão cárnea da Formulação 1 e 2..... | 97 |
| Tabela 13. Resultados de força de aderência das tripas plásticas de acordo com a formulação..... | 99 |
| Tabela 14. Resultados de gramatura das tripas plásticas de acordo com a formulação..... | 101 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ad – adesivo
ASTM – American Society For Testing and Materials
D – Diâmetro
DSC – Calorimetria Diferencial de Varredura
DM – Direção de Máquina
DT – Direção Transversal
EAA – Etileno e Ácido Acrílico
EMAA – Etileno Metacrílico
FTIR – Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
IC – Índice de Confiabilidade
ION - Ionômero
LP – Largura Plana
P – Perímetro
PA – Poliamida
PA + Surlyn[®] – Poliamida + Surlyn[®]
PE – Polietileno
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
PELBD – Polietileno Linear de Baixa Densidade
PO - Poliolefina
R – Raio
Surlyn[®] - nome comercial do ionômero da Dupont
TPO₂ – Taxa de Permeabilidade ao Oxigênio
TPVA – Taxa de Permeabilidade ao Vapor d'água

RESUMO

As tripas plásticas podem ser constituídas por diferentes polímeros que devem atender às necessidades do produto cárneo embutido. É comum encontrar, nos pontos de venda, produtos cárneos embutidos em tripa plástica, como a mortadela, cuja aderência entre o envoltório e a proteína da carne é percebida durante o seu descasque. A tripa plástica caracteriza-se por ser confiável e de alto desempenho, além de proteger os produtos através da combinação da força mecânica, resistência à temperatura e boas propriedades de barreira. O objetivo deste trabalho foi estudar a aderência da proteína de embutidos cárneos em tripas plásticas. Foi utilizado um delineamento experimental com a finalidade de avaliar a influência da camada interna de Poliamida, Polietileno e Poliamida + Surlyn[®], e verificar a força de aderência da proteína da carne na tripa e a gramatura da proteína aderida à tripa. Foram realizados testes a partir de um produto com emulsão cárnea padrão e de um outro produto com outra emulsão cárnea apresentando características físico-químicas diferentes da formulação padrão. As tripas plásticas foram caracterizadas através de ensaios de DSC, FTIR, Microscopia, Tensão Superficial e Resistência Mecânica. Verificou-se que a maior força de aderência e a maior gramatura foram encontradas na tripa plástica com Poliamida + Surlyn[®] na camada interna, independente da formulação da emulsão cárnea, seguida da camada interna de Poliamida e, por último, a de Polietileno. Além disso, observou-se que a tripa plástica com melhor resistência mecânica é a que apresenta Poliamida na camada interna. As análises físico-químicas indicaram que há diferença entre as duas formulações em relação à gordura, proteína e umidade. O comportamento e desempenho das tripas plásticas são significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre si com relação à força de aderência e gramatura.

Palavras-chave: Tripa plástica. Aderência. Proteína da carne. Camada interna. Força de aderência. Gramatura. Aderência da carne.

ABSTRACT

Plastic casings may be made of different synthetic polymers that should meet the needs of stuffed meat products. In retail outlets, it is common to find meat products, such as bologna, stuffed in plastic casing, whose adhesion between the wrapping and the meat protein is seen during their peeling. Plastic casing is a reliable, high performance casing that protects products through a combination of mechanical strength, temperature resistance, and good barrier properties. This study aimed to assess stuffed meat protein adherence in plastic casings. In order to evaluate the influence of the inner layer of Polyamide, Polyethylene, and Polyamide + Surlyn®, and examine both meat protein adherence force and protein grammage attached to the casing, an experimental design was used. We performed tests from a product with a standard meat emulsion and from another one with a differently formulated meat emulsion showing different physicochemical characteristics. The plastic casings were characterized using DSC tests, FTIR microscopy, Surface Tension, and Mechanical Resistance. We found the greatest adherence force and the heaviest grammage in casings with Polyamide + Surlyn® in the inner layer, regardless of the meat emulsion recipe, followed by the inner layer of Polyamide, and finally the Polyethylene. Furthermore, we observed that the plastic casings with better mechanical strength are the ones containing Polyamide in the inner layer. The physicochemical analysis indicated that there is a difference between the two formulations in relation to fat, protein, and moisture. Finally, behavior and performance of plastic casings are significantly different ($p < 0.05$) with respect to the adherence force and grammage.

Keywords: Plastic casing. Adherence. Meat protein. Inner layer. Adherence force. Grammage. Meat adherence.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

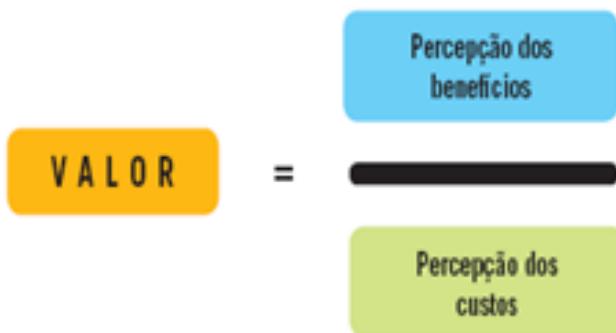
Agregar valor - esta é a expressão de ordem para a agroindústria da carne. Em um mercado cada vez mais competitivo e com o aumento da exigência dos consumidores por qualidade, o melhoramento contínuo dos produtos torna-se imperativo para a sobrevivência das empresas no setor (SHIMOKOMAKI *et al.*, 2003).

No último século, especialmente nas duas últimas décadas, ocorreram mudanças de grandes proporções na economia global e no comércio internacional, resultado dos avanços nos meios de transporte e de comunicação e desencadeado pelas melhorias da qualidade de vida das sociedades mundiais. Com a globalização, a proteção de um país passou a estar além de suas fronteiras e o termo “risco” passou a direcionar ações, normas e diretrizes do comércio internacional (RAMOS *et al.*, 2009).

Existem várias tendências fundamentais que estão dirigindo a alocação de recursos de pesquisa das empresas para desenvolver embalagens e sistemas de embalagens que podem ajudar as indústrias de carnes a satisfazer os mercados varejista e consumidor. Três tendências destacam-se ano após ano em embalagens de carnes. A primeira tendência é a necessidade de reduzir mão de obra nos supermercados, por exemplo. Atualmente, muitos supermercados ficam abertos 24 horas por dia; com isso, o abastecimento de produtos cárneos nas gôndolas deve ser constante, tornando necessária a presença de funcionários em todos os turnos para o preparo desses produtos (fatiar, moer, cubar, etc.). A segunda tendência está relacionada à falta de tempo dos consumidores de hoje e a necessidade deles por produtos cárneos frescos, de alta qualidade e prontos para consumo, pois os produtos congelados são cada vez menos procurados. A última tendência é a logística customizada da indústria de carnes para entregar produtos seguros aos seus consumidores a toda hora. Enquanto uma grande quantidade de trabalhos tem sido feita dentro das indústrias para eliminar patógenos e aumentar a qualidade do produto, a embalagem tem desempenhado um papel fundamental em vários avanços, como uma estrutura de material adequada ao produto com barreira ao vapor d'água e oxigênio ou uma resistência mecânica diferenciada para suportar os impactos do transporte (BELCHER, 2006).

Em mercados com concorrência acirrada, a manipulação das características dos produtos é uma das estratégias da indústria alimentícia para influenciar a demanda e conquistar maior participação de mercado com ofertas de produtos de maior valor agregado para o consumidor, desenvolvendo produtos mais robustos e, ao mesmo tempo, mais competitivos financeiramente. Essa estratégia de diferenciação considera que as pessoas fazem suas escolhas buscando a maximização do valor dos alimentos que serão consumidos. Os consumidores tendem a escolher os produtos avaliando o conjunto de benefícios oferecidos em relação aos custos da compra. Conforme a Figura 1, o conceito de valor do produto para o consumidor é a percepção que ele tem em relação aos benefícios daquele produto pela percepção de custo desse mesmo produto. (FIESP, 2010).

Figura 1 - Conceito de valor percebido do produto pelo consumidor.



Fonte: FIESP (2010).

Esse conceito de valor é definido como algo que reflete a relação entre os benefícios e os custos percebidos pelo consumidor, enquanto a satisfação do cliente seria caracterizada pela sensação que ele teria ao perceber o desempenho do produto, em contraste com suas expectativas. Sob a ótica dos consumidores, os benefícios podem ser tangíveis ou intangíveis, e os custos percebidos referem-se tanto ao preço cobrado pelo produto como também ao tempo e ao esforço de compra e preparo dos alimentos, e aos riscos percebidos em relação à origem ou ingredientes dos produtos, entre outros fatores. O valor atribuído pelo cliente ao produto também é destacado como um fator fundamental para o sucesso das empresas. Por isso, é importante que as mesmas

compreendam a maneira pela qual os clientes percebem o valor do produto para, assim, poderem oferecer valores exclusivos, como meio para a criação de relacionamentos duradouros com os consumidores. Além de ofertar vantagens aos clientes, os desenvolvimentos de novos produtos ou as melhorias promovidas nos produtos existentes devem também ser gerenciados de modo a atingir bons resultados para as empresas e seus clientes (FIESP, 2010).

Na área de embalagens para alimentos cárneos, foram considerados alguns trabalhos inspiradores, como o apresentado por Santos *et al.* (*Technological properties of natural hog casings treated with surfactante solutions* – 2008) sobre a avaliação das propriedades tecnológicas de tripas naturais; o trabalho de Agnaldo Crippa sobre filmes termoformados (*Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas* – 2006); o trabalho de Clardy *et al.* sobre adesão de proteínas em diferentes filmes (*Protein-to-Film adhesion as examided by amino analysis of protein binding to three different packaging films* – 2008); e também a proposta de testes para avaliação de aderência da DuPont (*ISU Adhesion-to-meat study* – 1987). Considerando esses estudos, observou-se uma oportunidade nessa área para realizar uma avaliação do desempenho das tripas plásticas com diferentes camadas internas para aplicação em embutidos cárneos, especialmente porque, segundo nosso conhecimento, a literatura disponível tratando da interação entre o produto cárneo e o envoltório artificial ainda é escasso. Normalmente, em um novo desenvolvimento não é feita nenhuma definição da estrutura da tripa plástica conforme a formulação do produto; porém, alguns problemas como liberação de líquido e necessidade de aderência ou não, podem ser evitados diante de um estudo prévio para melhor entendimento do processo e formulação, bem como a aplicação correta das tripas disponíveis no mercado. Com isso, esse material vai poder servir para ser consultado por profissionais da área, bem como referência para outros estudos nessa linha de pesquisa.

Desta forma, o desenvolvimento do presente trabalho pode ser justificado principalmente por fatores como:

1. as tripas plásticas utilizadas em produtos embutidos são atualmente especificadas apenas através do calibre de embutimento e da espessura do material (filme);

2. a composição da camada interna da tripa pode alterar a intensidade de aderência da proteína da carne, além de causar possíveis alterações no aspecto final do produto;

3. o conhecimento da interação do produto com diferentes camadas internas da tripa plástica é de extrema importância para as indústrias do setor alimentício.

4. aplicar esse estudo em desenvolvimentos de novos produtos para poder definir a estrutura adequada de tripa plástica de acordo com a formulação utilizada.

É comum encontrar produtos cárneos embutidos em tripa plástica nos pontos de venda, como a mortadela, cuja aderência entre o envoltório e a proteína da carne é visualizada durante o descasque do mesmo. Essa característica faz parte da qualidade percebida do produto e a presença de bolhas ou bolsões na sua superfície compromete a aderência bem como a sua qualidade.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a aderência da proteína da carne em tripa plástica a partir de um produto com emulsão cárnea, característico de massa fina, embutido em tripas com camadas internas de poliamida (PA), que é a estrutura mais utilizada em mortadelas, polietileno (PE) e uma mistura de poliamida e ionômero (PA + Surlyn®), e verificar o comportamento do produto diante dessas variações.

O custo da tripa plástica com PE na camada interna é em torno de 4% menor do que a tripa com PA na camada interna, isso devido à diferença entre os preços de resina (o custo do polietileno é menor que o da poliamida). Já a estrutura com PA + Surlyn® na camada interna é em torno de 2% maior que a tripa com PA. O custo da estrutura da tripa deve estar associado aos benefícios da aplicação do material em termos de qualidade e apresentação final do produto.

Os objetivos específicos foram:

1. definir um procedimento para mensurar a aderência da proteína da carne de produtos embutidos e cozidos em tripas plásticas;
2. descrever o fenômeno de aderência entre a proteína e a embalagem;
3. validar o método de medição da aderência da proteína da carne de produtos embutidos;
4. avaliar a influência da camada interna da tripa plástica na aderência do produto;
5. correlacionar a gramatura da proteína da carne aderida à tripa plástica com a sua força de aderência;
6. verificar o comportamento da proteína da emulsão cárnea embutida em tripa plástica com diferentes camadas internas.

Este trabalho está estruturado em capítulos. No capítulo II, é apresentada a revisão bibliográfica referente aos embutidos cárneos,

produção brasileira de embutidos cárneos, formação de emulsão, envoltórios artificiais e planejamento experimental. O capítulo III descreve a metodologia utilizada para a realização dos experimentos. Os resultados dos experimentos e suas respectivas discussões estão apresentados no capítulo IV. As conclusões do trabalho encontram-se no capítulo V.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EMBUTIDOS CÁRNEOS

A produção de produtos cárneos embutidos apresenta-se como uma importante solução para atender à demanda do mercado consumidor por produtos de qualidade. Para que esses produtos embutidos mantenham suas propriedades funcionais e permaneçam seguros para consumo, o condicionamento dos mesmos deve ser feito pelo emprego de envoltórios (tripas). Tal procedimento de conservação é utilizado há muitas gerações e apresenta-se, ainda, como um desafio na melhoria contínua dos produtos processados, cujas fábricas estão buscando cada vez mais produtividade e qualidade através dos mesmos equipamentos, sem aumento de custo no produto final. Assim sendo, a compreensão dos aspectos tecnológicos dos diversos tipos de envoltórios disponíveis na atualidade e de como manipular esses recursos poderá contribuir para que novas soluções sejam geradas no âmbito das indústrias (SHIMOKOMAKI *et al.*, 2003).

Por isso, é extremamente importante entender que as características de um produto dependem das propriedades funcionais dos seus constituintes (proteína do músculo e ingredientes não cárneos utilizados para composição do produto, funcionalidade, estabilidade e economia) (JIMÉNEZ-COLMENERO *et al.*, 2010) e que a qualidade dos produtos cárneos que são cozidos nas embalagens também depende da interação entre o material da embalagem e a carne (CLARDY *et al.*, 1998).

Desde sua introdução nos anos 80, a tecnologia de cozimento de produtos dentro da embalagem (embalagem “*cook-in*”) tornou-se um procedimento padrão no cozimento de presuntos na Europa e na América do Norte. Essa tecnologia envolve embalagem a vácuo de presunto cozido em um saco plástico que encolhe hermeticamente ao redor do produto e evita a perda de umidade durante o processo de cozimento e posterior resfriamento do produto. Em alguns países da Europa, maximizar o rendimento do processo é o principal objetivo do cozimento de presuntos nas suas embalagens e os presuntos cozidos são geralmente desembalados depois de resfriados, então fracionados, fatiados e/ou embalados novamente em diferentes filmes para distribuição. Nesse caso, as embalagens de cozimento são selecionadas onde a camada interna adere minimamente ao produto durante o cozimento, uma vez que eles devem permanecer sempre fáceis para

descascar. Em contraste, na América do Norte os presuntos são cozidos dentro da embalagem e entregues aos supermercados nas suas embalagens de cozimento e, geralmente, não são abertos até serem fatiados. Sob essas condições, uma forte aderência do produto à embalagem é exigida para evitar liberação de salmoura durante a estocagem, devido à aderência insuficiente entre o produto e o filme, bem como às falhas na extração das proteínas miofibrilares durante o preparo da massa e posterior cozimento do produto. (PIETTE *et al.*, 1997).

No sistema logístico atual, a distribuição de alimentos sem embalagem é dificilmente concebível. Tradicionalmente, a embalagem de alimentos tem sido limitada para conservação e proteção dos produtos até o seu consumo, frente aos fatores ambientais como influências químicas, físicas e biológicas. A barreira imposta pela embalagem retarda a deterioração, estende a vida de prateleira e conserva a qualidade do alimento embalado. Entretanto, a embalagem deveria servir não apenas como uma ferramenta eficiente para manter a qualidade dos produtos embutidos, mas também para aumentar os valores do produto, além de estimular as vendas (aspecto atrativo) e permitir a transmissão de informações ao consumidor sobre o produto (LEE, 2010).

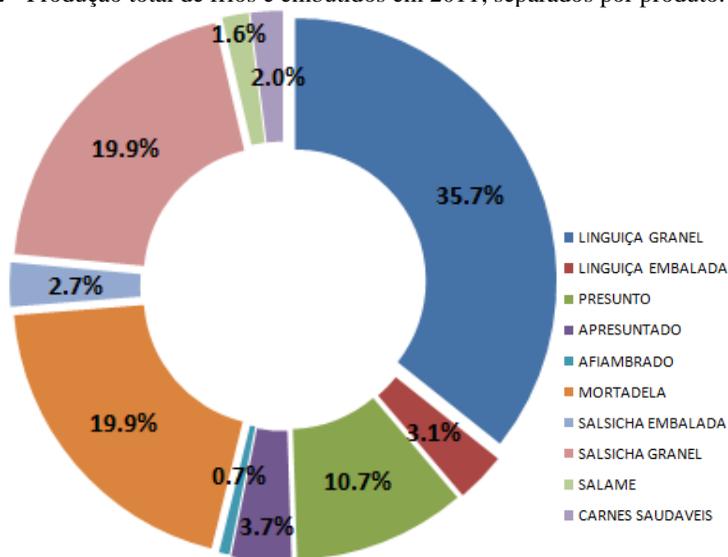
As tecnologias de embalagens tradicionais, usadas para produtos cárneos frescos e processados, consistem principalmente de embalagem a vácuo, com atmosfera modificada, e permeável ao oxigênio. Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos dos materiais para embalagem de alimentos, das metodologias e dos equipamentos utilizados na produção de alimentos têm melhorado a eficiência e função das embalagens de produtos cárneos. No futuro, outras soluções (estrutura de embalagem com controle da permeabilidade de oxigênio e vapor d'água ou aplicação de agentes bioativos, desempenho funcional, equipamentos de envase) serão exigidas para atender às expectativas crescentes dos consumidores em termos de conveniência e qualidade, cumprindo os mais rígidos padrões ambientais e de segurança (LEE, 2010).

2.2 PRODUÇÃO BRASILEIRA DE EMBUTIDOS CÁRNEOS

De acordo com a produção total de embutidos no Brasil, os dados do Instituto AC Nielsen indicam que, no ano de 2011, foram produzidas 1.031.097.700 toneladas de embutidos cárneos. Esse estudo aponta que o mercado brasileiro de embutidos cárneos é liderado pela produção de

linguiças (38,8%), seguido de salsichas (22,6%) e de mortadelas (19,9%), como observado na Figura 2, uma vez que esses produtos são fontes de proteína com um custo mais acessível para a maioria da população.

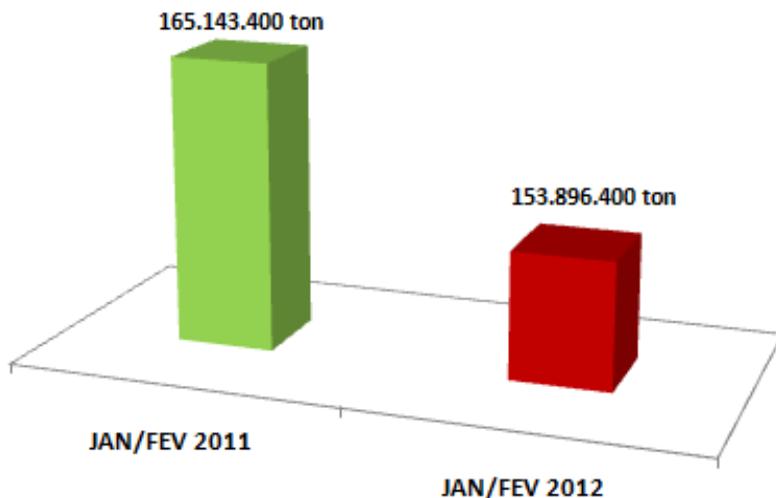
Figura 2 - Produção total de frios e embutidos em 2011, separados por produto.



Fonte: Relatório do Instituto de Pesquisa ACNielsen – Global Services (2011).

Comparando a produção total de frios e embutidos cárneos dos meses janeiro e fevereiro de 2011 e de 2012, houve uma queda na produção de aproximadamente 7%, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Produção total de frios e embutidos em 2011 e 2012.

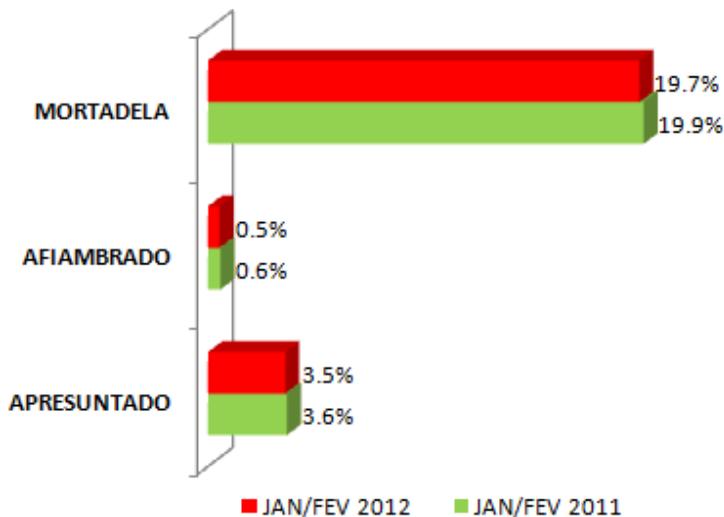


Fonte: Relatório do Instituto de Pesquisa ACNielsen – Global Services (2011).

O ano de 2012 foi extremamente desafiador para a indústria de proteínas animais em decorrência da desaceleração econômica global e pressões inflacionárias nos custos de produto que impactaram de forma negativa o resultado de todo o setor.

Outro fato relevante em 2012 foi a fusão das empresas Perdigão e Sadia, quando houve transferência das unidades de produção, de marcas e de centros de distribuição advindos do TCD (Termo de Compromisso de Desempenho) para o seu principal concorrente, assim como a suspensão temporária de diversas categorias de produtos impostas pelo CADE (Conselho Administrativo de Defesa Econômica). Esse fato elevou, de forma substancial, a demanda por seus produtos em diversas regiões do país, mas o consumo diminuiu pois não havia oferta suficiente para atender à demanda uma vez que a produção de mortadela, afiambrado e apresentado sofreu uma redução no volume de produção de 0,2%, 0,1% e 0,1%, respectivamente, como aponta a Figura 4 (www.brazilfoods.com).

Figura 4 - Produção total de Mortadela, Afiambrado e Apresentado em 2011 e 2012.



Fonte: Relatório do Instituto de Pesquisa ACNielsen – Global Services (2011).

Portanto, em um mercado cada vez mais competitivo, é imprescindível que as indústrias tenham conhecimento técnico aprimorado para desenvolver produtos mais robustos, com qualidade assegurada e com um custo adequado para o consumidor.

2.3 FORMAÇÃO DA EMULSÃO

2.3.1 Composição Muscular

De acordo com a Tabela 1, o maior constituinte do músculo é a água, contendo uma média de 75% do peso muscular; entretanto, isso pode variar particularmente no músculo *post-mortem*. A água no interior do músculo é o componente primário do fluido extracelular e, dentro da célula, é o componente principal de fluido sarcoplasmático (citoplasmático). Ela é importante na regulação térmica e no transporte de nutrientes dentro da célula, entre células e entre o músculo e o sistema vascular. O segundo maior componente é a proteína, que consiste em cerca de 19% da estrutura muscular magra. A gordura representa aproximadamente 3% do peso muscular, mas pode variar dependendo da idade, nível nutricional e tipo do músculo do animal; ela é importante na estocagem da energia e estrutura da membrana. Os carboidratos estão relacionados a um pequeno percentual do tecido

muscular. Existem numerosas substâncias nitrogenadas não protéicas no músculo, como creatina, fosfato de creatina, nucleotídeos (ATP, ADP), aminoácidos livres, peptídeos e outras substâncias não protéicas (TOLDRÁ, 2010).

Tabela 1 - Composição química do músculo de um mamífero adulto depois do *Rigor Mortis* e antes das alterações degenerativas *Post-mortem*.

| Componentes | Percentual do peso médio muscular | |
|---|--|--------------|
| Água | 75% | (65 - 80%) |
| Proteína | 19% | (16 - 22%) |
| Lipídios | 2,5% | (1 - 13%) |
| Carboidrato | 1,2% | (0,5 - 1,5%) |
| Substâncias Nitrogenadas Não Protéicas | 1,45% | (1 - 2%) |
| Outras substâncias Não Protéicas | 0,85% | (0,5 - 1%) |

Fonte: Adaptado de Meat Science (1979).

2.3.2 Proteínas Musculares

As proteínas representam blocos de construção essenciais da estrutura muscular. Conforme apresentado na Tabela 2, a proteína do músculo pode ser dividida em três grandes grupos baseados nas suas solubilidades em água e em sais. As proteínas estão envolvidas na manutenção e organização das células musculares (papel das proteínas do estroma que são altamente insolúveis) e são importantes no processo de contração muscular (responsabilidade das proteínas miofibrilares que são solúveis em sais). Há, também, as proteínas distribuídas com o fluido celular (proteínas sarcoplasmáticas, que são solúveis em água) (TOLDRÁ, 2010).

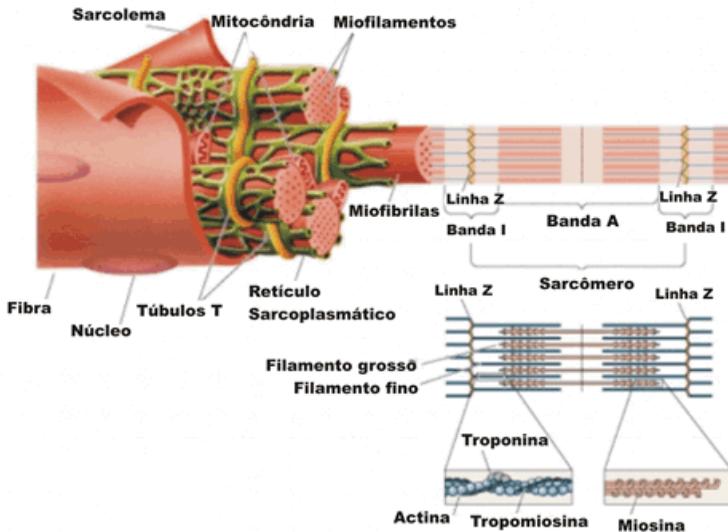
Tabela 2 - Principais proteínas em um músculo magro de frango – base de 19% de proteína total.

| Grupo | Proteínas | Percentual do peso muscular |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Sarcoplasmáticas | Solúveis em água | 5,5% |
| | Mioglobina | 0,2% |
| | Hemoglobina | 0,6% |
| | Citocromo | 0,2% |
| | Enzimas | 2,2% |
| | Glicolíticas | 0,5% |
| | Creatina | |
| Miofibrilares | Solúveis em sais | 11,5% |
| | Miosina | 5,5% |
| | Actina | 2,5% |
| | Tropomiosina | 0,6% |
| | Troponina | 0,6% |
| | C-Proteína | 0,3% |
| | α -Actinina | 0,3% |
| | β -Actinina | 0,3% |
| Estroma | Não solúveis | 2,0% |
| | Colágeno | 1,0% |
| | Elastina | 0,05% |
| | Mitocôndria | 0,95% |

Fonte: Adaptado de BARBUT (2002).

A Figura 5 apresenta um diagrama esquemático da fibra muscular, mostrando sua organização configuracional, evidenciando as proteínas do estroma, as sarcoplasmáticas e as miofibrilares. A unidade contrátil de uma fibra muscular é um sarcômero, que possui cerca de 2 μm de comprimento e fica entre duas linhas Z. A actina está ligada à linha Z e chega até o fim dela; enquanto que a miosina está ligada à linha M. A banda I é a zona em que a miosina não se sobrepõe com a actina, e no meio da banda A é o espaço onde a actina não se sobrepõe com a miosina. O arranjo da actina e miosina dá à fibra uma aparência estriada sob o microscópio, onde os filamentos de actina e miosina estão dispostos num padrão hexagonal estruturado (FEINER, 2006).

Figura 5 - Organização da fibra muscular.



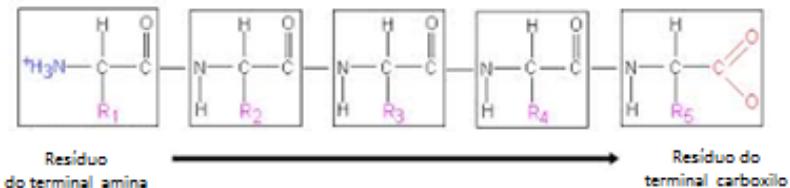
Fonte: www.sobiologia.com.br pesquisa por imagem em 26/08/2014.

Uma proteína ou polipeptídeo pode se apresentar em diferentes graus de estruturação (estrutura primária, secundária, terciária e quaternária) que são mantidas por vários tipos de ligação e/ou interações entre os vários grupos funcionais dos aminoácidos que compõem a proteína (SGARBIERI, V., 1996).

Estrutura primária

A estrutura apresentada na Figura 6 é a espinha peptídica ou cadeia de polipeptídeos formada apenas por ligações peptídicas, a qual consiste de uma única sequência de aminoácidos geneticamente determinada; é linear, não ramificada e nenhuma outra ligação é envolvida nessa estrutura (FEINER, 2006).

Figura 6 - Estrutura primária da proteína.



Fonte: www.icb.ufmg.br pesquisa por imagem em 27/08/2014.

Estrutura Secundária

É uma repetição padrão da estrutura primária mantida pelas pontes de hidrogênio entre grupos amidas das ligações peptídicas que estão presentes ao longo da cadeia de aminoácidos. A Figura 7 mostra que essa repetição pode ser intramolecular (α -hélice) ou intermolecular (folha pregueada), dependendo da sequência de aminoácidos na estrutura primária. (SGARBIERI, 1996).

Figura 7 - Estrutura de proteína α -hélice e folha pregueada β .

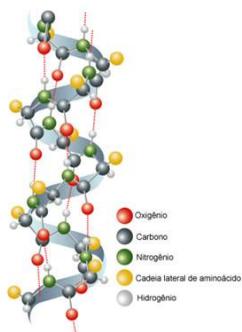


Fonte: FEINER (2006).

Estrutura Terciária

É um arranjo espacial da cadeia polipeptídica (dobramento ou formação de laços), já dotada ou não de estrutura secundária. A Figura 8 mostra que as forças envolvidas na estabilização da estrutura terciária e determinação da conformação da proteína são ligações dissulfeto (covalentes), ligações salinas ou interações eletrostáticas, pontes de hidrogênio, interações dipolares e interações hidrofóbicas ou de Van der Waals (SGARBIERI, 1996).

Figura 8 - Disposição espacial da estrutura terciária.



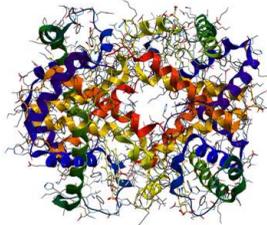
Fonte: www.brasilecola.com pesquisa por imagem em 29/08/2014.

Estrutura Quaternária

É obtida quando duas ou mais cadeias polipeptídicas individuais funcionam como uma única unidade. As interações entre os

polipeptídeos são estabilizadas por ligações covalentes. Pontes de hidrogênio e ligações covalentes também estão presentes. A Figura 9 apresenta uma estrutura quaternária, representada pela hemoglobina (FEINER, 2006).

Figura 9 - Modelo da estrutura quaternária da hemoglobina humana.

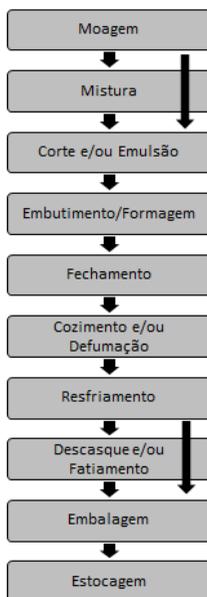


Fonte: www.brasilecola.com pesquisa por imagem em 29/08/2014.

2.3.3 Processamento da Carne

O desafio da indústria é produzir um embutido cárneo estável que pode passar pelo processo de cozimento sem separar a gordura da carne. Os produtos nessa categoria são produzidos a partir de diferentes carnes e ingredientes não cárneos ao redor do mundo inteiro. As emulsões de carne ou massa *batter* são produtos cárneos finamente triturados ou moídos para reduzir o tamanho da partícula de gordura e obter uma massa homogênea, como mortadelas e salsichas. As etapas básicas envolvidas no processamento da carne para fabricação de embutido estão ilustradas na Figura 10. Algumas ou todas as etapas podem ser empregadas dependendo do produto a ser fabricado e a forma como será comercializado; o produto pode ter a sua matéria-prima moída e, ao invés de passar pelo misturador, ir diretamente para a formação da emulsão. Assim como o produto pode ser cozido, resfriado, descascado e fatiado antes de ir para embalagem de transporte, pode, também, depois de cozido e resfriado, ser diretamente acondicionado nas caixas de transporte. (BARBUT, 2002).

Figura 10 - Etapas que envolvem o processamento da carne.



Fonte: Adaptado de BARBUT (2002).

A carne deve ser resfriada com temperatura ótima de 0 a 4°C. A contagem de bactérias deve ser a menor possível e é usualmente em torno de $10^2 - 10^4$ unidade formadora de colônia por grama de carne. O pH entre 5,7 e 6,1 é preferido, pois o alto valor de pH resulta no aumento da solubilidade da proteína e melhora a capacidade de retenção de líquido; a proteína terá um desdobramento significativo porque as forças repulsivas eletrostáticas dentro molécula de proteína criam grandes espaços entre actina e miosina e mais água pode ser imobilizada dentro da estrutura molecular (FEINER, 2006).

Moagem

A redução do tamanho dos pedaços de carne é o processo mais comum envolvido na fabricação de produtos cárneos triturados (salsichas, mortadelas, salames e linguiças). Os três principais métodos usados são moagem, descamação e corte. A moagem é, provavelmente, o método mais comum de redução do tamanho da partícula de carne. Nesse processo, a carne é forçada através de um disco moedor que pode ter diferentes tamanhos de aberturas conforme mostrado na Figura 11 (BARBUT, 2002).

Figura 11 - Moedor industrial.



Fonte: www.sotomano.com.br – último acesso em 26/01/2013.

Todas as lâminas e facas do moedor devem estar limpas, afiadas e com força ajustada para evitar que a carne se despedace. A utilização de velocidades moderadas no moedor ajudam a evitar o aumento da temperatura da carne (FEINER, 2006).

Mistura

A mistura é outra etapa muito comum na fabricação de produtos cárneos. É usada para alcançar quatro grandes objetivos:

- proporcionar uniformidade quando carnes de diferentes fontes são usadas;
- misturar ingredientes não cárneos (exemplo: sal, especiarias) com a carne previamente moída, triturada ou cortada (característica de massa fina);
- ajudar na extração das proteínas solúveis em sal dos músculos através do fornecimento de agitação mecânica, explicado em seguida;
- melhorar a absorção da solução de salmoura na estrutura muscular.

Dentre os ingredientes não cárneos, o sal ou cloreto de sódio (NaCl) é o ingrediente mais largamente usado em produtos cárneos. Ele ajuda na solubilização da proteína, melhora e proporciona *flavor* e altera o crescimento microbiano. A extração das proteínas solúveis em sais, principalmente miosina e actina, é essencial para o processamento de carne. Na massa de carne crua, essas proteínas podem reter a umidade e aumentar a capacidade de retenção de água (*WHC – Water-Holding Capacity*), contribuir para emulsionar as partículas de gordura em produtos moídos/triturados, revestindo as partículas de gordura e

aumentando a viscosidade da massa de carne para facilitar a incorporação de gordura (BARBUT, 2002).

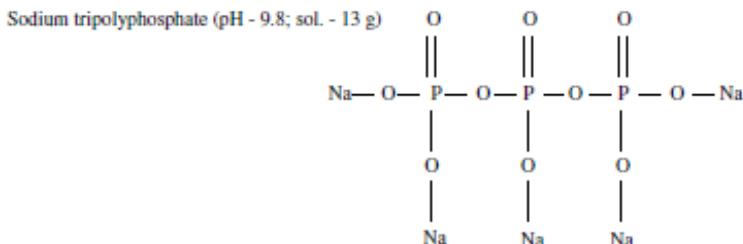
Após o aquecimento, as proteínas extraídas coagulam e proporcionam a ligação das partículas à base de carne, retêm a umidade (minimizam as perdas de cozimento) e formam uma matriz consistente para segurar a gordura derretida (BARBUT, 2002).

Já os fostatos são sais de ácido fosfórico que podem trabalhar junto com o cloreto de sódio para aumentar a extração da proteína do músculo e, conseqüentemente, aumentar a capacidade de retenção de água e reduzir o encolhimento no cozimento (BARBUT, 2002).

Os fosfatos desempenham três funções químicas básicas: controle de pH por tamponamento, sequestro de íons metálicos e ação como poliânions para aumentar a força iônica e pH das soluções. Essas funções fornecem muitos benefícios como: ligação da água, retardamento do ranço oxidativo; proteção contra crescimento microbiano, melhoria da textura, melhoria do *flavor*, emulsificação, desenvolvimento de cor, estabilização, etc (ÜNAL *et al*, 2004).

Os polifosfatos são mais comumente utilizados na indústria cárnea e são produzidos pelo aquecimento de misturas de ortofosfatos a altas temperaturas, onde eles condensam em cadeias de fosfatos. O aumento do comprimento das cadeias de fosfatos está associado às propriedades polieletrólito, permitindo que as cadeias de fosfatos se anexem aos sítios positivos nas moléculas de proteína, conduzindo ao aumento da solubilidade proteica e à melhoria da ligação da água. Entretanto, o mecanismo de ligação da água é dependente do tipo de fosfato usado. Dentre os diferentes tipos, os tripolifosfatos de sódio são especialmente os mais desejáveis na indústria cárnea, cuja estrutura molecular está apresentada na Figura 12 (ÜNAL *et al*, 2004).

Figura 12 - Estrutura química do tripolifosfato de sódio usado no processamento de carne.



Fonte: BARBUT (2002).

Do ponto de vista do processo, produtos cárneos moídos são geralmente classificados de acordo com o principal tratamento estabilizante usado no processo. Produtos cárneos emulsificados devem ser seguidos de tratamento térmico que visa estabilizar a massa multifásica e atingir as propriedades sensoriais finais. Durante a emulsificação, a área interfacial entre as fases aumenta drasticamente e uma alta quantidade de energia mecânica é requerida. A tensão superficial da mistura dos ingredientes cárneos e não cárneos é diretamente proporcional à energia necessária para alcançar a emulsificação. Os emulsificantes contribuem para a formação da emulsão porque reduzem a tensão interfacial e também aumentam a estabilidade. Miosina é o principal emulsificante nos produtos cárneos (TOLDRÁ, 2010).

Os principais tipos de proteínas que formam a fibra muscular, miosina e actina, são solúveis em soluções salinas. Por esta razão, 1–5% de sal pode ser adicionado à carne triturada durante o processamento. O processo de solubilização da proteína pelo sal produz uma variedade de agregados que vão desde proteínas individuais sarcoplasmáticas e miofibrilares não associadas até miofibrilas intactas (COMFORT *et al.*, 2003).

Os processos de expansão e solubilização da proteína são extremamente importantes para todos os produtos à base de carne, nos quais a água, e água e gordura, são introduzidas, e alguma forma de ligação ou de emulsão é necessária. A expansão e solubilização estão ligadas e necessitam de adição de água. Apenas a proteína solubilizada pode atuar como um emulsionante em produtos contendo gorduras e, ao mesmo tempo, imobiliza grandes quantidades de água adicionada (FEINER, 2006).

A maioria das proteínas está presente na sua forma ionizada e exhibe a configuração COO^- e NH_3^+ . Essas cargas opostas se atraem entre si e a proteína está fortemente ligada. As principais proteínas responsáveis por essa ligação são as proteínas miofibrilares solúveis em sal, das quais miosina e actina são as mais importantes. Nessa fase, a capacidade de retenção de líquido e solubilidade da proteína em si estão no seu pior efeito e no seu ponto mais fraco (FEINER, 2006).

A adição de fosfatos e de sal desempenha um papel fundamental no processo de expansão e ativação das proteínas. O início e a conclusão do *rigor mortis* inclui o estabelecimento de ligações cruzadas entre actina e miosina, e essas ligações limitam o grau de expansão da proteína. Os fosfatos removem as ligações cruzadas e permitem a expansão eficaz da estrutura da proteína fibrosa (FEINER, 2006).

A adição de sal aumenta a força iônica. Os íons de Na^+ e Cl^- agem como forças de separação porque eles se ligam à proteína do lado da cadeia e aumentam as forças repulsivas entre eles, estabelecendo a expansão através do aumento de espaços entre actina e miosina. Em seguida, a água penetra na estrutura da proteína aberta e cria espaços ainda maiores entre a actina e miosina. Esse processo, conhecido como expansão da proteína, continua até o ponto em que a estrutura fibrosa do tecido muscular não seja mantida por mais tempo. Nesse ponto, a estrutura muscular fibrosa altamente expandida se torna uma forma viscosa ou líquida. Essa é a fase final da expansão conhecida como solubilização de proteínas (FEINER, 2006).

O grau de solubilização da proteína é aumentado por forças mecânicas durante o processo, como moagem e mistura, porque a energia mecânica suporta a ruptura das moléculas de proteína bem expandidas (extraídas). É importante lembrar que os fosfatos só removem ligações entre actina e miosina. Da mesma forma, o sal causa expansão entre as estruturas de proteína, mas não solubiliza muita proteína. Quando os dois aditivos são aplicados juntos, agem muito fortemente de forma sinérgica e grandes quantidades de proteína são solubilizadas (FEINER, 2006).

Os atributos que determinam a qualidade na carne baseiam-se, principalmente, na funcionalidade de suas proteínas. As propriedades funcionais são as propriedades físico-químicas das proteínas que modificam as características organolépticas do alimento. A hidratação, a emulsificação e a gelificação são propriedades funcionais que podem depender de fatores intrínsecos da molécula como sua conformação, a disposição dos aminoácidos, a hidrofobicidade, a ionização, a carga elétrica, a forma e peso molecular, assim como fatores extrínsecos do ambiente: pH, força iônica, temperatura e A_w . As propriedades funcionais se potencializam com o tempo de extração (moagem e mistura), com o aumento de concentração salina (força iônica) e com o aumento do pH, e também com condições do processo que favoreçam a solubilização e a extração da miosina (CarneTec, 2012).

Baixas temperaturas retardam o crescimento bacteriano e otimizam a solubilidade das principais proteínas miofibrilares, miosina e actina. Proteínas solúveis em sal, tais como miosina e actina, são 300% mais fortes na capacidade de retenção de líquido e de emulsionar gordura do que as proteínas solúveis em água, as tais proteínas sarcoplasmáticas. Deve-se tomar cuidado para assegurar que a temperatura da massa de carne não suba acima de 5°C para impedir o crescimento de microorganismos e acompanhar a ordem que os

ingredientes e aditivos são adicionados à misturadeira, conforme ilustração da Figura 13, para que eles possam desempenhar suas respectivas reações e funções desejadas, e para que a emulsão seja estável (FEINER, 2006).

Figura 13 - Misturadeira planetária.



Fonte: www.comercialbordon.com.br – último acesso em 25/08/2012.

O estado físico-químico das proteínas miofibrilares afeta a funcionalidade dos sistemas cárneos e desempenha um papel direto na determinação da qualidade e do valor da carne processada. A agregação entre as proteínas, induzida termicamente, é considerada o elemento chave para transformar o extrato de proteína viscosa a uma matriz tridimensional durante o processamento da carne (LI, 2006).

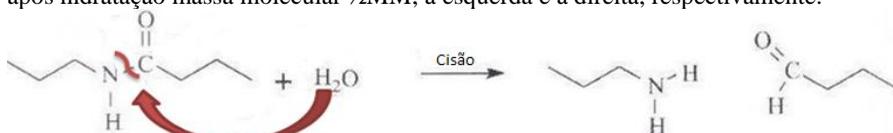
Hidratação

Enquanto a emulsão cárnea é preparada, ocorre a hidratação da tripa plástica para deixar o material mais flexível e maleável durante o embutimento.

As moléculas de líquidos plastificantes, intencionalmente adicionados ou naturalmente absorvidos pelo polímero, normalmente são pequenas e se alojam entre as cadeias poliméricas, afastando umas das outras. Esse afastamento reduz as forças de atração intermolecular secundária, aumentando a mobilidade das cadeias, ou seja, lubrificando-as. Essa lubrificação molecular reduz o nível energético necessário para dar mobilidade à cadeia toda. O nível de absorção de água é proporcional ao número das pontes de hidrogênio, à umidade relativa, ao tempo e área de exposição. Se o material nessa condição for aquecido, a molécula de água próxima da ligação amida levará à reação

de hidrólise, com a cisão da cadeia e consequente redução da massa molecular, conforme ilustração da Figura 14. Em função do número variável de pontes de hidrogênio por grupos CH_2 têm-se diferentes níveis nominais de absorção de água (CANEVALORO, 2012).

Figura 14 - Antes da hidratação cadeia de Nylon com massa molecular MM e após hidratação massa molecular $\frac{1}{2}\text{MM}$; à esquerda e à direita, respectivamente.



Fonte: CANEVALORO (2002).

Embutimento e Fechamento

A etapa de embutimento pode ser definida como sendo a extrusão da massa de carne em embalagens plásticas flexíveis, através de equipamentos manuais, semiautomáticos ou inteiramente automatizados. Por ser um produto moído, é necessário dar-lhe alguma forma para possibilitar o processamento subsequente, além de protegê-lo.

As embutideiras variam em tamanho e grau de automação, mas geralmente podem ser divididas em dois tipos básicos: pistão e bomba de enchimento. O pistão é acionado por ar (energia elétrica ou manual) e força a carne da câmara de armazenamento cilíndrica através de um tubo de enchimento. O diâmetro do tubo de enchimento, a velocidade de embutimento e a pressão são controlados pelo operador e deve combinar com o tamanho e tipo de tripa usado. A aplicação de vácuo é opcional e embutideiras a vácuo são mais caras, mas são vantajosas por fornecerem produtos de alta qualidade. Grandes bolsões de ar deixados na massa podem mais tarde aparecer como espaços vazios no produto cozido, preenchidos com gelatina (tecido conectivo derretido) ou gordura derretida. É importante minimizar a presença de espaços vazios porque esses produtos serão rejeitados pelo consumidor. Além disso, a retirada do ar pode ajudar a diminuir os problemas de oxidação e prolongar a vida de prateleira (BARBUT, 2002).

Os equipamentos são construídos sob rigorosos padrões de qualidade. São seguros, confiáveis, de fácil operação e manutenção, e irão contribuir para que a produção atinja os níveis exigidos de produtividade e qualidade, conforme a Figura 15 (www.polyclip.com.br).

Figura 15 - Equipamento para embutimento e fechamento do produto.



Fonte: www.interfoodtechnology.com pesquisa por imagem – último acesso em 26/01/2013.

Cada tripa possui um calibre de embutimento recomendado pela empresa fabricante. Normalmente, considera-se que a largura plana da tripa é a metade do perímetro da tripa:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot R \quad (\text{equação 1})$$

onde P é o perímetro; π é uma proporção numérica com valor aproximado de 3,14; e R é o raio.

$$LP = P/2 \quad (\text{equação 2})$$

onde LP é a largura plana e P é o perímetro. Substituindo a equação (1) na equação (2), tem-se:

$$LP = \pi \cdot R \quad (\text{equação 3})$$

Como o raio é a metade do diâmetro:

$$R = D/2 \quad (\text{equação 4})$$

onde R é o raio e D é o diâmetro; a equação (4) pode ser substituída na equação (3), obtendo (VISCOFAN, 2004):

$$LP = \pi \cdot D/2 \quad (\text{equação 5})$$

Depois de embutida, a tripa deve ser fechada nas extremidades. Isso pode ser feito através de fio amarrado, conforme Figura 16; ou fixando-se um grampo de metal de acordo com a Figura 17.

Figura 16 - Produto embutido fechado através de fio amarrado.



Fonte: www.familiarbar.blogger.com.br pesquisa por imagem – último acesso em 26/01/2013.

Figura 17 - Produto embutido fechado através de grampo metálico.



Fonte: www.perdigao.com.br pesquisa por imagem – último acesso em 26/01/2013.

Cozimento e Resfriamento

O aquecimento e resfriamento são atividades comuns em processamento de alimentos. As operações que envolvem aquecimento de alimentos são desempenhadas com diferentes propósitos, como redução da população microbiana, inativação de enzimas, redução da umidade do produto, modificação da funcionalidade de certos compostos e, cozimento. Mas em outros processos (resfriamento e congelamento), o calor é removido dos alimentos para reduzir ou evitar a deterioração química e reações enzimáticas e para inibir o crescimento microbiano. O entendimento das etapas de cozimento e resfriamento é essencial a fim de se obter o melhor controle possível sobre esse processo e para evitar sub- ou super- processamento que, muitas vezes, resultam em efeitos prejudiciais sobre as características dos alimentos, pois o gradiente de temperatura é a força que dirige essas etapas (WELTI-CHANES *et al*, 2005).

Os produtos são pendurados em varas, acondicionados em gaiolas como ilustrado na Figura 18, e colocados em uma estufa, onde o calor gerado é transferido para o produto conforme Figura 19.

Figura 18 - Produto embutido pendurado na gaiola.



Fonte: BRF.

Figura 19 - Exemplo de estufa para cozimento estático.



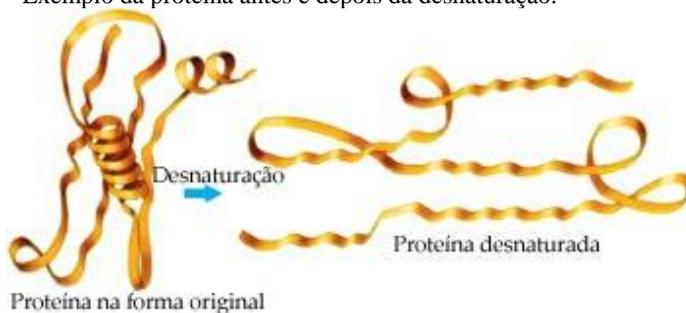
Fonte: www.mfrural.com.br pesquisa por imagem – último acesso em 26/01/2014.

A quantidade de umidade do ar, o fluxo do ar, a diferença de temperatura (ΔT) entre o produto e o ambiente (estufa ou forno), o tamanho do produto (calibre) e a capacidade da estufa são alguns dos principais fatores que determinam a taxa de transferência de calor. A umidade relativa do ar (expressa como quantidade de umidade no ar a uma dada temperatura) é particularmente importante porque a água é um bom condutor térmico e sua presença ajuda a distribuir o calor (BARBUT, 2002).

Já o processo de cozimento em si resulta em algumas mudanças nos produtos cárneos devido à desnaturação da proteína muscular, como a firmeza, um fator importante para manter o formato desses produtos (JUDGE et al., 1998).

A desnaturação da proteína muscular é essencial para a formação da textura desejável do produto cárneo. A ligação das peças de carne durante o cozimento envolve extensas interações entre as proteínas como resultado da desnaturação pelo calor. A desnaturação consiste na troca da configuração da proteína com estrutura nativa e altamente organizada para uma estrutura não nativa e menos organizada que pode ser causada não só pelo impacto de temperatura (cozimento), como também pelo pH (acidificação), altas concentrações de sal (sal) e baixos níveis de atividade de água. As estruturas secundária, terciária e quaternária são facilmente modificadas durante a desnaturação, e as ligações que mantêm essas estruturas são destruídas de forma irreversível de acordo com a Figura 20 enquanto a sequência de aminoácidos não se altera e nenhuma ligação peptídica é rompida (FEINER, 2006).

Figura 20 - Exemplo da proteína antes e depois da desnaturação.



Fonte: www.vestibulandoweb.com.br pesquisa por imagem em 29/08/2014.

O calor agrupa as estruturas como resultado das transformações das proteínas. As proteínas solúveis da carne, que foram solubilizadas durante a formação da mistura cárnea, conforme descrito no tópico Moagem de 2.3.5 Processamento da Carne, passam por uma gelatinização induzida pelo calor durante a desnaturação das proteínas (JUDGE *et al.*, 1998).

A fração miofibrilar solúvel em sal é, em grande parte, responsável pela gelatinização e propriedades emulsificantes de produtos de carne triturados. Em temperaturas maiores, uma estrutura de rede mais estável foi formada. A uma temperatura acima de 90°C, qualquer colágeno presente seria convertido em gelatina que, no resfriamento, pode também ter contribuído para a rede de gel. O aquecimento da carne acima de 90°C é conhecido por melhorar sua maciez por causa da degradação do colágeno. O aumento da pressão também é conhecido por afetar a desnaturação e formação de gel da proteína da carne que pode também ter contribuído para o aumento do módulo de cisalhamento (COMFORT *et al.*, 2003).

A rede da proteína do gel formada durante o aquecimento das proteínas miofibrilares resulta de um desdobramento e abertura dos sítios de ligação, ocorrendo formação da matriz de gel. Tem sido teorizado que interações entre carne e tripa de poliamida ocorrem pelo aquecimento e que esses fenômenos podem ser relatados como adesão de carne e embalagem durante o aquecimento (CLARDY *et al.*, 1998).

A gelatinização promove estabilização das partículas de gordura fundidas e imobiliza a água. O resultado é a firmeza que ocorre durante o cozimento. A estabilização da estrutura é alcançada quando as taxas de aumento da temperatura são constantes. A diferença entre a temperatura da estufa ou forno e a temperatura do produto é chamada temperatura diferencial, a qual deve ser mantida constante. Quando a temperatura aumenta de maneira discreta com grandes diferenciais de temperatura, a gordura pode derreter e ligar-se antes de ocorrer a desnaturação das proteínas. Do mesmo modo, se as taxas de umidade nos fornos de cozimento forem muito altas, especialmente no início do cozimento, a carga de energia necessária também será alta e o comprometimento das gorduras pode ocorrer antes da desnaturação suficiente das proteínas para a estabilização das gorduras (JUDGE *et al.*, 1998).

Em produtos cárneos, as interações entre as proteínas durante o processo afetam características do produto final como: 1) habilidade de ligação da água do produto; 2) estabilização da gordura do produto; 3) adesão entre os componentes, e 4) desenvolvimento da cor (CLARDY *et al.*, 1998).

As diferenças de comportamento nas superfícies das proteínas são, em geral, as manifestações de diferenças nas suas propriedades moleculares, por exemplo, flexibilidade molecular, área de hidrofobicidade, estrutura terciária, etc. No entanto, os fatores ambientais tais como pH, temperatura e sais são conhecidos por alterar o comportamento interfacial de muitas proteínas (O'NEILL, 1989).

Gorduras interagem com outros ingredientes para desenvolver textura, mastigabilidade e ajudar na sensação geral de lubricidade dos alimentos (YOUSSEF *et al.*, 2009).

A redução da umidade na superfície do produto reduz a atividade da água sobre essa região e, conseqüentemente, o crescimento microbiano. A coagulação das proteínas na superfície do produto consiste na formação de uma camada externa que serve como uma "pele" quando os envoltórios são removidos. Essa pele é formada durante o cozimento em função da secagem da superfície devido à temperatura do produto alcançada e ao tempo que essa temperatura é mantida. É importante que o processo de cozimento seja adequado e cuidadosamente controlado para não haver perda excessiva de peso do produto e para formar uma textura densa e sem rugas na superfície para o produto ser facilmente descascado e ter boa aparência (TOLDRÁ, 2010).

O resfriamento é uma etapa delicada do processo para garantir a salubridade dos embutidos cárneos. Nessa etapa, o produto deve atingir temperaturas abaixo de 4 – 5°C, através de jatos de ar, imersão em água fria ou com chuveiros de água fria. O resfriamento final de 40 para 15°C é considerado o período mais crítico e deveria ser restrito a menos de 4 horas quando possível. As condições do resfriamento lento pode ser perigoso, devido aos longos períodos a temperaturas relativamente altas, onde micro-organismos podem crescer (TOLDRÁ, 2010).

2.4 ENVOLTÓRIOS ARTIFICIAIS

Os envoltórios artificiais ou tripas artificiais são elaborados em um processo industrial e utilizados na indústria de alimentos, principalmente cárnea, para embutir uma determinada quantidade de produto comestível. Na maioria dos casos, são usados para substituir os intestinos ou bexigas dos animais, os quais são considerados envoltórios naturais. As tripas artificiais podem ter formato tubular, de bolsa, de folha e de filme (GRUPO VISCOFAN, 2004).

O envoltório artificial é uma parte integrante do embutido, que separa o sistema cárneo do meio ambiente. A função da tripa artificial

começa no momento do embutimento e termina na mesa do consumidor. A tripa tem um papel direto e indireto no volume, estrutura e trocas químicas que ocorrem durante o processo do produto cárneo embutido. As propriedades de cada tipo de envoltório podem desencadear e controlar vários eventos físicos, químicos e bacteriológicos. Logo, a função do envoltório não é apenas proteger a integridade do embutido cárneo, dar o formato e tamanho desejado, mas também ajudar na conversão da emulsão cárnea em um produto embutido desejado (SAVIC, 2002).

2.4.1 Tripas Plásticas

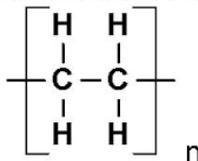
O embutido cárneo é provavelmente o produto de conveniência mais antigo de todos. As tripas naturais têm sido usadas como película de embutidos por 5.000 anos. Em 1925 apareceu a fibra celulósica, mecanicamente mais estável para cozimento de embutidos cárneos. Já as tripas plásticas estão no mercado desde 1940, a qual é considerada uma embalagem confiável e de alto desempenho, satisfazendo um grande número de requisitos técnicos importantes para proteger os produtos nos alimentos de conveniência moderna através da combinação da força mecânica, resistência à temperatura (-18 a +105/121°C, de congelado a esterilizado) e boas propriedades de barreira. Os componentes econômicos e ecológicos, baixo custo e pouco lixo, devem ser levados em conta também. Todos esses aspectos são atualmente satisfeitos por uma tripa plástica moderna (HENZE, 2005).

As tripas plásticas são adequadas para aplicações de conveniência em uma variedade de formas, sendo utilizadas matérias-primas de diferentes polímeros para sua fabricação. Esses polímeros são materiais que consistem de combinações de carbono, hidrogênio, oxigênio e outros elementos que derivam em sua maioria do petróleo e do gás natural. Em escala industrial, podemos dizer que são moléculas grandes, sintetizadas por um processo químico chamado polimerização. Nesse processo, grupos químicos ou monômeros se unem ou condensam em uma cadeia crescente. Em alguns casos, usa-se mais de um polímero, chamados de copolímeros. O comprimento dessas cadeias é uma das características mais importantes do plástico, já que determina sua propriedade intrínseca e seu comportamento funcional (GRUPO VISCOFAN, 2004).

Um polímero é definido pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (*IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry*) como uma substância feita de moléculas grandes que é caracterizada por múltipla repetição de uma ou mais espécies de átomos

ou grupo de átomos chamados de monômeros. Como ilustrado na Figura 21, um monômero é a menor unidade constitucional cuja repetição descreve completamente a estrutura da cadeia principal (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

Figura 21 - Exemplo de unidade constitucional do Polietileno.



Fonte: www.masterflex.com pesquisa por imagem – último acesso em 19/10/2014.

Os plásticos são um grupo especial de polímeros com características que as diferenciam das fibras, borrachas, adesivos e outros materiais, os quais também são polímeros. A principal característica do plástico é sua habilidade, enquanto sólido, de escoar e ser moldado usando o calor e pressão a temperaturas relativamente baixas quando comparadas ao vidro e metal. Alguns plásticos, chamados termoplásticos, são capazes de mudar de forma repetidamente, podendo trocar de dimensões mesmo depois de extrusados (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

Os polímeros mais comuns utilizados na fabricação de uma tripa plástica são Poliamida (PA), Polietileno (PE) e Ionômeros (ION).

Poliamida (PA)

Nylon é um nome genérico da família da poliamida termoplástica caracterizado pelo grupo amida [-CO – NH-] na cadeia principal. Nylon 6.6 e Nylon 6 são os dois nylons mais comuns usados para embalagens de alimentos, pois são transparentes, termoformáveis, fortes e resistentes ao longo de um amplo intervalo de temperaturas (boa resistência térmica); com boa resistência química e boa barreira ao gás, óleo e aromas; alta resistência mecânica (abrasão, perfuração, impacto e flexão). As maiores deficiências das poliamidas são a dificuldade de processamento, a baixa barreira ao vapor d'água e a perda de propriedades mecânicas e de barreira com a umidificação. Como são hidrofílicos, se deixados em condições ambientais normais podem absorver de 6 a 8% do seu peso de água. Em geral, os nylons são muito permeáveis ao vapor d'água e absorvem umidade, que exerce um efeito plastificante no polímero, acarretando uma redução na resistência à

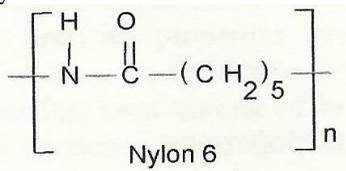
tração, na rigidez e nas propriedades de barreira a gases e a vapores orgânicos. A resistência ao impacto e à flexibilidade aumentam com a absorção de umidade (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

Os nylons são usados na forma de filme e tripa, como um componente simples ou em estruturas multicamadas para a maioria das aplicações em embalagens. São polímeros com fortes forças intermoleculares devido à presença de pontes de hidrogênio entre as moléculas adjacentes dos grupos $-C=O$ e $HN-$ (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

As propriedades dos nylons estão associadas à sua estrutura polimérica, que resulta da matéria-prima utilizada para sua produção, a qual pode ser classificada pela condensação de dois monômeros ou pela condensação de aminoácidos heterofuncionais, como o Nylon 6.6 e o Nylon 6, respectivamente. A alta resistência mecânica que esses materiais possuem se deve às ligações do tipo pontes de hidrogênio, formadas entre as carbonilas de uma cadeia e o hidrogênio da ligação amida da outra cadeia (CANEVALORO, 2012).

Nylon 6 é sintetizado usando o monômero caprolactama ($C_6H_{11}NO$) com 6 átomos de carbono, conforme a Figura 22, e o “6” no nome é associado com o número de carbono (LEE *et al.*, 2008).

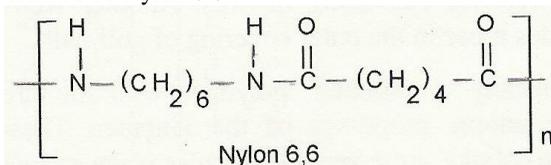
Figura 22 - Polímero do Nylon 6.



Fonte: LEE *et al.* (2008).

Similarmente, o Nylon 6.6 derivou o “6.6” porque ele é sintetizado usando ácido adípico ($C_6H_{10}O_4$) e hexametilenodiamina ($C_6H_{16}N_2$), cada um desses monômeros tem 6 átomos de carbono como apresentado na Figura 23 (LEE *et al.*, 2008).

Figura 23 - Polímero do Nylon 6.6.



Fonte: LEE *et al.* (2008).

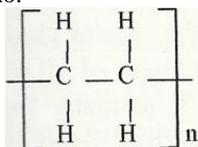
Para a fabricação de tripa plástica, a resina mais utilizada é o Nylon 6 porque tem um ponto de amolecimento menor e maior faixa no ponto de fusão, sendo, assim, mais fácil para coextrusar (CLARDY *et al.*, 1998).

Polietileno (PE)

Polietileno é o polímero mais frequentemente utilizado em aplicações de embalagens para alimentos, tanto em materiais com estruturas simples como em multicamadas, especialmente devido à barreira que oferece ao vapor d'água, propriedades de selagem e propriedades mecânicas, baixo custo e fácil processabilidade. De acordo com a Figura 24, o polietileno também tem a composição química mais simples de todos os polímeros, sendo essencialmente um hidrocarboneto de cadeia linear. Entretanto, os polietilenos não oferecem boa barreira a gases como oxigênio, nitrogênio e gás carbônico e são permeáveis a óleos e gorduras (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

As principais classificações do polietileno se diferem em densidade, ramificações da cadeia e cristalinidade: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno linear de baixa densidade (PELBD) (LEE *et al.*, 2008).

Figura 24 - Polímero de Polietileno.



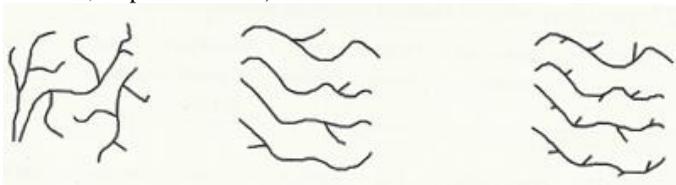
Fonte: LEE *et al.* (2008).

O PEBD, membro da família de Poliolefina, é o mais amplamente usado para embalagens plásticas. Olefina significa “formação de petróleo” e é um sinônimo antigo para alceno, nome originalmente dado ao etileno. Alcenos são os hidrocarbonetos que contêm ligações duplas de carbono, como etileno e propileno. Na indústria plástica, olefina é um termo comum que se refere à família de plásticos baseados em etileno e propileno. O termo poliolefina se aplica estritamente aos polímeros feitos de alcenos (homopolímeros ou copolímeros) e inclui a família de polietileno e polipropileno (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

O PEAD é um polímero linear com poucas cadeias ramificadas e, como suas moléculas têm facilidade em se dobrar, sua estrutura é opaca, ou seja, é um polímero altamente cristalino. Comparado ao PEBD e

PELBD, tem alto ponto de fusão (135°C x 110°C), maior resistência à tração, maior dureza e melhor resistência química. Já o PEBD é um homopolímero com muitas cadeias ramificadas, usado principalmente em filmes para embalar produtos frescos e adesivos em estruturas multicamadas. É uma estrutura flexível, com boa transparência e selagem a quente. O PELBD é um copolímero com 1–10% de comonômeros de alceno, resultando em um polímero linear com muitas cadeias ramificadas curtas. Possui a mesma transparência e selagem a quente que o PEBD, bem como a mesma força e resistência que o PEAD. Com suas propriedades superiores, pode substituir o PEBD em muitas aplicações de embalagens para alimentos. O principal uso do PELBD é em filme *stretch*, tripas de poliamida e revestimento nas camadas selantes das embalagens (LEE *et al.*, 2008).

Figura 25 - Diferenças entre as cadeias do PEBD, PEAD e PELBDL (à esquerda, centro e direita, respectivamente).



Fonte: LEE *et al.* (2008).

Conforme visto na Figura 25, a cadeia ramificada do homopolímero de PEBD dá a esse polímero um número de características desejáveis como transparência, flexibilidade, selagem a quente e facilidade de processamento. O valor atual dessas propriedades depende do equilíbrio entre o peso molecular, distribuição do peso molecular e ramificação (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

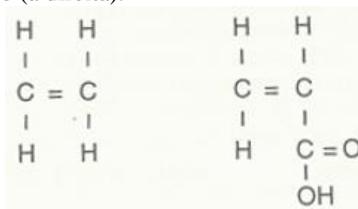
A estrutura básica do polietileno é $(-\text{CH}_2-)_n$, com ramificações, ou cadeias laterais, em maior ou menor quantidade. O grau de ramificação e o comprimento dessas cadeias laterais exercem influência considerável sobre as características do material, uma vez que são obstáculos à formação de cristais. Quanto menor o grau de ramificação das cadeias poliméricas, maior a cristalinidade e, conseqüentemente, maior a densidade. O comprimento, a quantidade e o grau de ramificação dependem do processo de polimerização e do monômero utilizado. Durante o resfriamento do polímero, o polietileno tende a se cristalizar. Entretanto, esta cristalização não é completa, havendo formação de cristais imperfeitos chamados de cristalitos, os quais estão rodeados pelo

restante do material que se solidificou no estado amorfo. A fração cristalina apresenta maior densidade e é responsável pela resistência do material (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

Ionômero (Surlyn®)

Os copolímeros de Etileno e Ácido Acrílico (EAA) são flexíveis, com resistência química e propriedades de barreira semelhantes às do PEBD, conforme Figura 26. Entretanto, devido aos grupos carboxílicos nas laterais da cadeia, apresentam significativa interação intermolecular por pontes de hidrogênio que determina suas características superiores de resistência à tração, tenacidade, *hot tack* e adesão (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

Figura 26 - Estrutura química dos monômeros que formam o Etileno (à esquerda) e Ácido Acrílico (à direita).



Fonte: SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

À medida que a quantidade de Ácido Acrílico (AA) aumenta, a cristalinidade diminui, o que implica no aumento da transparência. Similarmente, a força de adesão aumenta por causa do aumento da polaridade, e a temperatura de selagem diminui devido à diminuição da cristalinidade (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

A neutralização do EAA ou de um polímero similar como o Etileno e Ácido Metacrílico (EMAA) com cátions metálicos (Na^+ , Zn^{++} , Li^+), produz um polímero com melhor transparência e tenacidade, e maior resistência do fundido que a forma não neutralizada. Esses materiais são chamados de “ionômeros” porque combinam ligações covalentes e iônicas na cadeia do polímero. A Figura 27 ilustra a estrutura de um ionômero de etileno e acrilato de sódio (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas

Tensão Superficial

A tensão superficial é uma importante propriedade da superfície de polímeros. Em sólidos e em líquidos, as forças associadas às moléculas no interior do material são equilibradas, pois cada molécula é cercada em todos os lados por moléculas semelhantes, resultado das forças coesivas. Por outro lado, as moléculas na superfície não são completamente rodeadas pelo mesmo tipo de moléculas, gerando forças desequilibradas que apresentam energia livre adicional, definida pela energia livre de Gibbs, atribuída à área da superfície. Como consequência dessas forças desequilibradas, as moléculas exibem forças atrativas mais fortes em relação às suas moléculas mais próximas à superfície, onde a expansão dessa área de superfície exige energia para neutralizar a força de coesão, que é chamado de tensão superficial, expressa em mJ/m^2 ou dina/cm . Os valores de tensão superficial podem ser obtidos por medição do ângulo de contato; porém, outros métodos estão disponíveis para estimativas da tensão superficial dos líquidos e sólidos, como as canetas com concentração das soluções de formamida e etileno glico monoetil éter, conforme Figura 29 (HERNANDEZ *et al.*, 2000).

Figura 29 - Canetas com concentração das soluções de formamida – etileno glico monoetil éter usada para medir a tensão superficial.



Fonte: www.coronabrasil.com.br último acesso em 10/04/2012.

Os valores da tensão superficial, em dynas/cm, estão relacionados às concentrações de formamida e etileno glicol monoetil éter dispostas na Tabela 3, cujos valores são determinados sob temperatura de 25°C e 50% de umidade relativa (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

Tabela 3 - Concentração das soluções de formamida – etileno glicol monoetil éter de acordo com a tensão de umectação.

| Formamida (% v/v) | Etileno glicol monoetil éter (% v/v) | Tensão de umectação (dyn/cm) |
|----------------------|---|---------------------------------|
| 0.0 | 100.0 | 30.0 |
| 2.5 | 97.5 | 31.0 |
| 10.5 | 89.5 | 32.0 |
| 19.0 | 81.0 | 33.0 |
| 26.5 | 73.5 | 34.0 |
| 35.0 | 65.0 | 35.0 |
| 42.5 | 57.5 | 36.0 |
| 48.5 | 51.5 | 37.0 |
| 54.0 | 46.0 | 38.0 |
| 59.0 | 41.0 | 39.0 |
| 63.5 | 36.5 | 40.0 |
| 67.5 | 32.5 | 41.0 |
| 71.5 | 28.5 | 42.0 |
| 74.5 | 25.3 | 43.0 |
| 78.0 | 22.0 | 44.0 |
| 80.3 | 19.7 | 45.0 |
| 83.0 | 17.0 | 46.0 |
| 87.0 | 13.0 | 48.0 |
| 90.7 | 9.3 | 50.0 |
| 93.7 | 6.3 | 52.0 |
| 96.5 | 3.5 | 54.0 |
| 99.0 | 1.0 | 56.0 |

Fonte: (SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

A fase líquida pode molhar completamente a superfície sólida (levando a uma grande superfície coberta por uma camada de líquido e não várias pequenas gotas separadas) quando sua tensão superficial é mais baixa que a do sólido, conforme a ilustração da Figura 30. A figura da esquerda mostra o líquido cinza com uma tensão superficial mais próxima do sólido preto (superfície) enquanto que a figura da direita apresenta a tensão superficial do líquido cinza maior que o sólido branco (superfície) (LEE *et al.*, 2008).

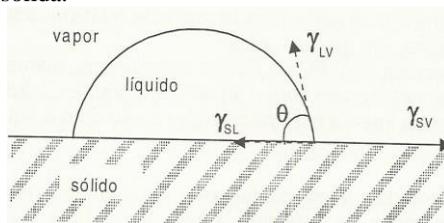
Figura 30 - Superfície sólida molhada pela fase líquida.



Fonte: LEE *et al.* (2008).

A tensão superficial deve ser expressa em função do comportamento de uma gota de líquido em sua superfície. Quando uma gota de líquido é depositada sobre a superfície de um sólido e o vapor deste líquido está em contato com ambos, conforme a Figura 31, as forças atuantes nas interfaces devem estar balanceadas (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

Figura 31 - Diagrama esquemático de um ângulo de contato de uma gota líquida sobre uma superfície sólida.



Fonte: SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

Essas forças podem ser representadas por energias atuando na direção das superfícies, segundo a equação abaixo:

$$\gamma_{LV} \cdot \cos\theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) \quad (\text{equação 8})$$

onde: θ é o ângulo de contato; γ_{SL} é a tensão superficial da interface sólido/líquido; γ_{SV} é a tensão superficial da interface sólido/vapor e γ_{LV} é a tensão superficial da interface líquido/vapor. O lado direito da equação 8, ou seja, a diferença entre as tensões superficiais das interfaces sólido-vapor e sólido-líquido é definida como a tensão de umectação (ou “*molhabilidade*”) da superfície do sólido, a qual não é uma propriedade fundamental da superfície, mas depende da interação específica entre o sólido e o líquido em particular. Se o ângulo de contato for 0° , diz-se que o líquido molha a superfície e, neste caso em particular, como $\cos\theta = 1$, a tensão de umectação do sólido é igual à tensão superficial do líquido (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

Calorimetria Diferencial de Varredura

A análise de Calorimetria Diferencial por Varredura (*DSC – Differential Scanning Calorimetry*) é uma técnica termo-analítica que mede a diferença de energia fornecida a uma substância e a um material de referência, em função da temperatura, enquanto a substância e o material são submetidos a uma programação controlada de temperatura (Dupont Packaging, 2009).

Com o objetivo de identificar a composição das estruturas das tripas plásticas com diferentes camadas internas, foi utilizada a análise de DSC para verificação das temperaturas de fusão e de cristalização dos polímeros constituintes de cada tripa.

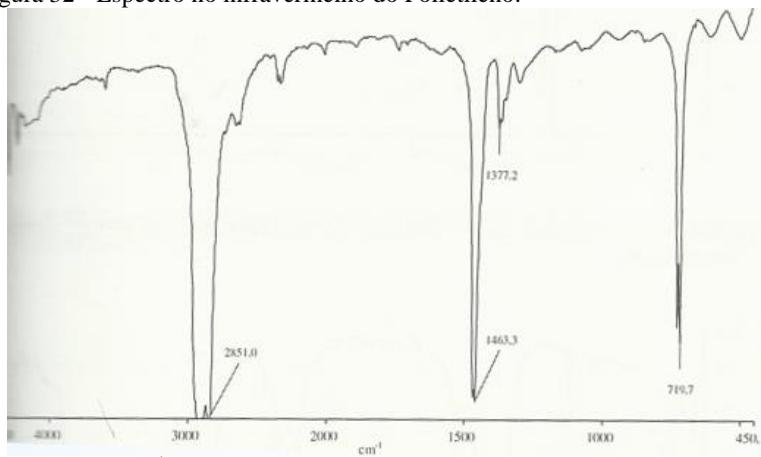
Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

A espectroscopia de infravermelho é considerada uma das técnicas experimentais mais importantes para a caracterização de polímeros em termos de determinação da estrutura (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

A identificação de polímeros através desse ensaio baseia-se no fato de que toda molécula orgânica absorve energia eletromagnética em comprimentos de onda específicos, de acordo com as ligações existentes entre os átomos que a constituem. A frequência de absorção da radiação infravermelha é característica para vários tipos de ligações químicas, o que torna possível reconhecer a presença de diferentes grupos estruturais. O resultado é expresso em um gráfico, o espectro de infravermelho, constituído por picos e bandas de absorção, cujas posições e intensidades correspondem a ligações e grupamentos químicos específicos presentes no material analisado (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

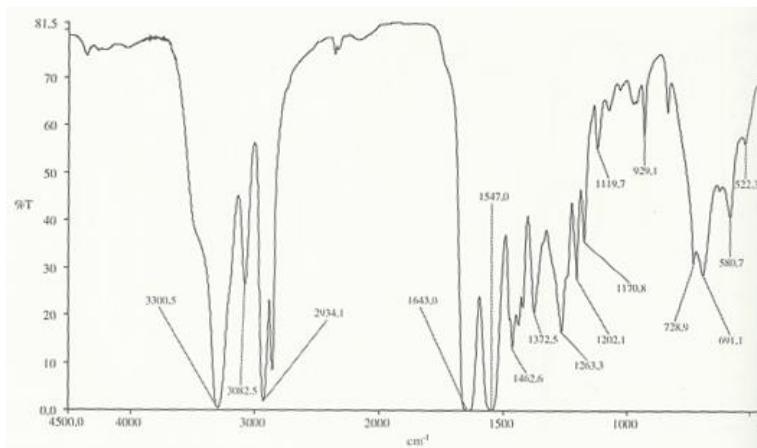
As figuras 32, 33 e 34 apresentam os espectros no infravermelho do Polietileno, Nylon e Ionômero, respectivamente.

Figura 32 - Espectro no infravermelho do Polietileno.



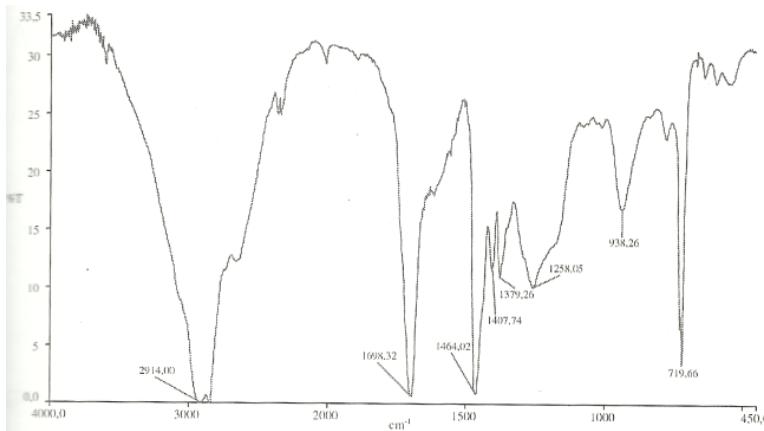
Fonte: SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

Figura 33 - Espectro no infravermelho do Nylon 6.6.



Fonte: SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

Figura 34 - Espectro no infravermelho do Ionômero.



Fonte: SARANTÓPOULOS *et al.* (2002).

Microscopia Ótica

A microscopia ótica é uma análise associada ao FTIR como uma ferramenta qualitativa para a identificação de materiais poliméricos presentes em embalagens flexíveis (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

O microscópio óptico é um instrumento usado para ampliar, com uma série de lentes, estruturas pequenas impossíveis de visualizar a olho nu. O microscópio de luz utiliza como fonte de iluminação a luz branca comum para permitir a observação de materiais. Esse instrumento fornece uma imagem consideravelmente aumentada. O aumento utilizado é de 400x (Dupont Packaging, 2009).

Ensaio Mecânicos

As propriedades de tração são úteis para identificar e caracterizar as tripas plásticas, as quais expressam a resistência do material à deformação por alongamento quando submetido à separação, a uma velocidade constante, de duas garras que prendem as extremidades de um corpo de prova, registrando-se ao longo do ensaio a força ou a resistência que o material oferece à deformação (alongamento). A deformação é o alongamento relativo do corpo de prova em relação a seu comprimento original. Observa-se que, inicialmente, o material oferece resistência crescente à solicitação de tração, a qual provoca seu alongamento. A partir de certo ponto, o aumento de resistência passa a ser menor para um mesmo aumento de deformação até o ponto de escoamento, a partir do qual é possível alongar o filme sem que este

responda com um aumento de resistência. Continuando o alongamento, o material resiste até que ocorre sua ruptura (SARANTÓPOULOS *et al.*, 2002).

2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas

As tripas plásticas incluem uma série de combinações possíveis de polímeros que são adequados para cozimento de embutidos cárneos e que podem ser divididas de forma simplificada em categorias conforme apresentação da Tabela 4, assumindo que as camadas externas das estruturas permanecem as mesmas; onde, DM e DT significam direção de extrusão do material, ou seja, direção de máquina (longitudinal) e direção transversal, respectivamente. (SAVIC, 2010).

Tabela 4 – Estruturas de tripas plásticas em função da camada interna.

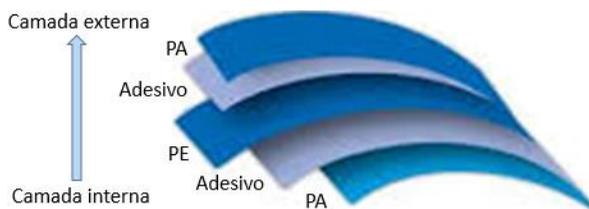
| Camada Interna | Estrutura da Camada | Encolhimento (%) | | Espessura da parede simples (µm) | TPO ₂ cm ³ /m ² .atm.dia) | TPVA (g/m ² .dia) |
|----------------|---------------------|------------------|-------|----------------------------------|--|------------------------------|
| | | DM | DT | | | |
| Poliamida | PA/ad/PO/ad/PA | 13-17 | 10-14 | 40-50 | 8-15 | 5-10 |
| Poliiolefina | PA/ad/PO/ad/PO | 17-23 | 12-18 | 35-45 | 15-25 | 3-5 |
| Ionômero | PA/ad/PO/ad/ION | 25-30 | 19-28 | 35-45 | 15-25 | 7-10 |

Fonte: Adaptado de *FLEISCHWIRSTCHAFT International* (2010).

Tripas com Poliamida na Camada Interna

As tripas multicamadas para produção de embutidos cárneos com poliamida na camada interna são utilizadas pela maioria dos fabricantes mundiais, conforme estrutura apresentada na Figura 35. Essa estrutura tubular é a forma mais simples para produção uma vez que proporciona aderência constante para a massa de carne.

Figura 35 - Estrutura básica de tripa com cinco camadas e PA na camada interna.



Fonte: Adaptado de *FLEISCHWIRTSCHAFT International* (2010).

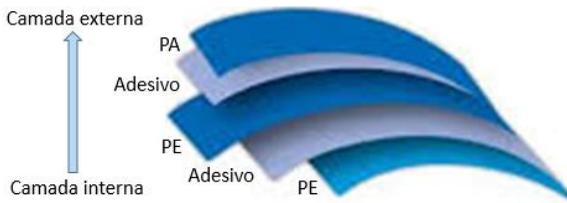
A princípio, todas as outras tripas para embutidos cozidos são compostas exatamente da mesma maneira, mas podem ser modificadas com os seguintes parâmetros adicionais:

- camada interior um pouco mais suave, modificada para aderência à emulsão da carne (ajustes menores na adesão são possíveis);
- encolhimento modificado, de modo que o encolhimento transversal não exceda o encolhimento longitudinal,
- camada intermediária que consiste em polímeros elásticos poliolefnicos (principal camada de barreira ao vapor d'água) (SAVIC, 2010).

Tripas com Poliolefina na Camada Interna

A tripa feita com poliolefina na camada interna está se tornando cada vez mais popular, mas existem poucos produtores desse material. Apenas a camada externa consiste de poliamida elástica; todas as outras camadas internas são macias, elásticas e muito adaptáveis ao produto embutido, conforme apresentado na Figura 36. É por isso que este revestimento tem a maior elasticidade e expansão nos moldes, de modo que os cantos aparecem bem formados (SAVIC, 2010).

Figura 36 - Estrutura básica de tripa com cinco camadas e PE na camada interna.



Fonte: Adaptado de *FLEISCHWIRSTCHAFT International* (2010).

Tripas com Ionômeros e suas Misturas na Camada Interna

Ionômeros e polímeros relacionados na camada interna são encontrados em estruturas de sacos encolhíveis que são fornecidos como filmes tubulares ou tripas. Conforme Figura 37, as tripas podem conter, uma, ou duas, ou até nenhuma camada de poliamida e são mais macias e mais elásticas do que as tripas clássicas (SAVIC, 2010).

Figura 37 - Estrutura básica de tripa com cinco camadas e PA + Ionômero na camada interna.



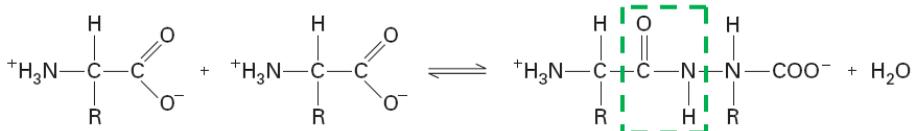
Fonte: Adaptado de *FLEISCHWIRSTCHAFT International* (2010).

2.4.4 Aderência da Proteína da Carne na Tripa Plástica

Há vários tipos de ligações associadas com formação de proteínas e formação de polímeros usados em embalagens flexíveis. As interações entre proteínas da carne e embalagens plásticas possivelmente envolvem tipos de ligações similares entre elas. As proteínas são formadas quando dois aminoácidos se combinam através de uma reação de condensação. De acordo com a Figura 38, o grupo carboxílico (COO^-) e o grupo amina ($^+\text{H}_3\text{N}$) formam uma ligação peptídica; por isso, as proteínas são,

de certa forma, chamadas de “polímeros de aminoácidos” (CLARDY *et al.*, 1998).

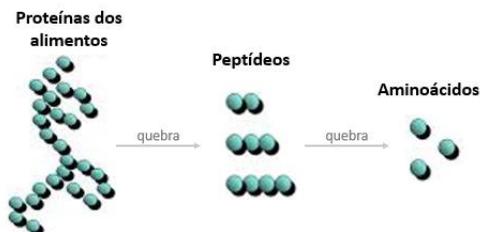
Figura 38 - União de dois aminoácidos via ligação peptídica.



Fonte: FEINER (2006).

Por outro lado, as proteínas podem ser destruídas por hidrólise catalisada por enzimas. Conforme Figura 39, as proteínas são degradadas a peptídeos através de proteinases, e os peptídeos são degradados a aminoácidos através de peptidases (FRANCO *et al.*, 1996).

Figura 39 - Degradação das proteínas e peptídeos.



Fonte: Adaptado da imagem Aminoácidos, Peptídeos e Proteínas - último acesso em 25/08/2014.

As estruturas secundárias e terciárias de proteínas são um resultado de pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas, forças eletrostáticas e forças de Van der Waals entre os polímeros de aminoácidos. Alguns plásticos são muito similares aos aminoácidos nos tipos de ligações que os seguram juntos. Como visto na Figura 23, o Nylon 6.6 é formado pela repetição do ácido adípico e hexametilenodiamina, e são mantidos juntos pelas ligações peptídicas formadas pela desidratação da molécula. Já o Nylon 6 tem a unidade de repetição estrutural mantida unida por uma ligação peptídica, conforme a Figura 22. Ou seja, os polímeros de nylon são mantidos juntos usando

interações similares que mantém as cadeias peptídicas da carne unidas (CLARDY *et al.*, 1998).

Devido à alta energia necessária para formar e quebrar a ligação peptídica, é improvável que esse tipo de ligação esteja envolvido na aderência entre a proteína da carne e a tripa. Mais provavelmente, a interação da proteína da carne com a tripa envolverá pontes de hidrogênio ou interações hidrofóbicas, visto que o material do filme não contém enxofre (CLARDY *et al.*, 1998).

O mecanismo pelo qual presuntos cozidos aderem às suas embalagens de cozimentos não é totalmente entendido. O trabalho de Earlier tem mostrado que nem todos os plásticos selantes são igualmente adequados para gerar boa aderência entre embalagem e produto. Por exemplo, poliamida (Nylon) e ionômeros (copolímeros de etileno e ácido acrílico ou metacrílico revestidos ionicamente, exemplo Surlyn®) aderem mais que polietileno ou polipropileno. Ionômeros neutralizados com zinco mostraram que aderem ligeiramente mais que os filmes não neutralizados. Além disso, a presença de proteínas desnaturadas parece ser essencial para a aderência embalagem e produto (PIETTE *et al.*, 1997).

Os aminoácidos em grupo polar, ácido e básico podem todos participar de pontes de hidrogênio. Pontes de hidrogênio podem se formar entre duas cadeias peptídicas, ligando as duas cadeias. A ponte de hidrogênio não covalente é uma ligação relativamente fraca (força de ligação 0,1 a 6 kcal/mol) comparada a ligações peptídicas covalentes (força ligação ~70 kcal/mol). Entretanto, a formação de múltiplas pontes de hidrogênio entre as cadeias peptídicas faz da ponte de hidrogênio um fator importante na estrutura da proteína. Por causa das similaridades entre plásticos e proteínas, poderia haver uma relação na interação desses elementos (CLARDY *et al.*, 1998).

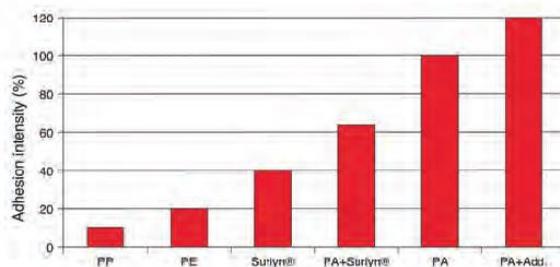
A descontinuidade da matriz protéica (matriz definida como todas as proteínas solúveis, tecido desintegrado, e fibras de tecido conectivo) resulta em desestabilização da emulsão, a qual pode permitir movimento da umidade em direção ao lado de fora do produto. A agregação da proteína pode causar a formação de uma rede grossa com capilares através do qual a água pode se mover para fora da estrutura. Schmidt *et al.* (1985) estabeleceu que o rendimento e texturas de produtos cozidos são regidos pela agregação de proteínas e formação capilar. Em geral, verifica-se que, quando as proteínas não são firmemente agregadas, água

e gordura não se movem para fora da superfície. Como as proteínas começam a se agregar e formar uma rede apertada, a gordura é aglutinada e é forçada a sair do produto. (YOUSSEF *et al.*, 2009).

Proteínas participam de interações específicas com outras proteínas, tal como no sistema imunitário e na adesão celular, mas também podem formar fortes interações não específicas com uma superfície. A adesão da proteína é também de interesse teórico, uma vez que sua força depende fortemente da estrutura proteica (SAGVOLDEN, 1999).

O objetivo da adesão da tripa é muito complexo e é pouco compreendido em aplicações diárias de produção de embutidos. Muitas vezes é esquecido que a adesão da superfície do produto com a camada de contato da tripa tem um valor quase constante, e que as formulações, matéria-prima carne selecionada, tratamento térmico e parâmetros de equipamento podem ser a razão para a flutuação da adesão. Intensidades de adesão entre emulsões de carne e combinações de polímeros diferentes foram avaliadas em algumas publicações, as quais mostraram que as poliamidas na sua forma pura (Nylon 6) possuem uma aderência relativamente elevada (100% no modelo de apresentação) para a massa de presunto cozido. Todos os outros polímeros, como ionômeros (Surlyn® da Dupont), misturas de poliamidas e ionômeros, polietileno e polipropileno exibiram adesão menor à estrutura da carne, conforme apresentado na Figura 40 (*FLEISCHWIRSTCHAFT International, 2010*).

Figura 40 - Intensidade de adesão entre a camada de contato dos polímeros mais utilizados para tripas plásticas e produtos cárneos.



Fonte: *FLEISCHWIRSTCHAFT International (2010)*.

A adesão da tripa ao embutido cárneo depende dos seguintes fatores: extração das proteínas miofibrilares, condição da carne (pH, proporção de água, proteína e gordura), quantidade e composição da salmoura (NaCl, fosfatos, proteína adicionada e outros aditivos), tratamento térmico, resfriamento e direção do descasque, os quais são proporcionais à intensidade de adesão da proteína da carne à superfície interna da tripa plástica (*FLEISCHWIRSTCHAFT International*, 2010).

Dentre as propriedades físicas dos materiais de embalagens, o controle da permeabilidade ao gás é muito importante para manter a qualidade dos produtos cárneos embalados. A permeabilidade ao gás pode ser reduzida pela combinação dos materiais de base com outros materiais de barreira a através de laminação, revestimentos, misturas ou metalização. A quantidade de transmissão de gás por meio de um material de embalagem depende de vários fatores como o tipo, área, espessura e permeabilidade ao gás do filme, diferenças na pressão parcial de ambos os lados do filme, temperatura de estocagem e umidade relativa. Quando o produto cárneo é exposto a uma alta concentração de O₂, o crescimento de microrganismos aeróbios (como *Staphylococcus Aureus*, *Listeria Monocytogenes* e *Escherichia Coli*), a oxidação de lipídios e mioglobina é acelerada. Entretanto, o uso de filme com barreira a gases para restringir a entrada de O₂ através do material da embalagem tem sido abundantemente relatado e largamente comercializado na indústria (LEE, 2010).

As empresas que fabricam tripas plásticas têm desenvolvido materiais que podem resistir ao tratamento térmico, melhorando a aderência da tinta, o brilho e o encolhimento para comercialização no varejo. Outra novidade para produtos que normalmente exigem coloração caramelo na superfície é a utilização de tripas com transferência de cor/sabor (BELCHER, 2006).

2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

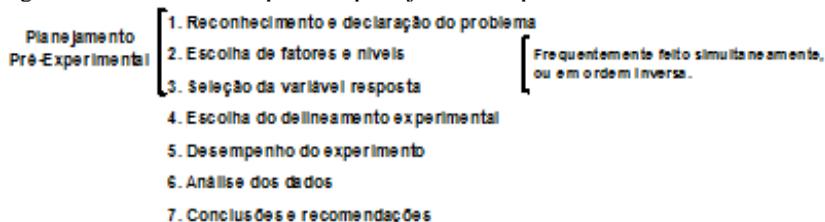
O planejamento experimental, também denominado delineamento experimental, representa um conjunto de ensaios estabelecidos com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo. Um planejamento adequado permite também a redução da variabilidade de resultados, a redução de tempos de análise e dos custos envolvidos. Para que os resultados obtidos de ensaios experimentais

possam ser analisados através de métodos estatísticos, possibilitando elaborar conclusões objetivas, o planejamento experimental deve ser baseado numa metodologia também estatística, que é a única forma objetiva de avaliar os erros experimentais que afetam esses resultados (BUTTON, 2005).

O delineamento experimental foi utilizado com a finalidade de estudar o efeito da aderência da proteína da emulsão cárnea nas tripas de poliamida com diferentes camadas internas.

O delineamento experimental é uma poderosa abordagem para melhorar um processo. Com a finalidade de usar essa abordagem, é necessário ter uma ideia clara do objetivo do experimento, os fatores que serão estudados, como o experimento será conduzido, e um entendimento qualitativo de como serão analisados os dados. A Figura 41 apresenta um esquema do procedimento recomendado (MONTGOMERY, 1997):

Figura 41 - Procedimento para um planejamento experimental.



Fonte: MONTGOMERY (1997).

CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na planta piloto do CETEC (Centro de Tecnologia de Carnes) da empresa BRF S/A, localizado na cidade de Videira – SC. As matérias-primas cárneas e não cárneas foram obtidas da unidade produtora de Videira/SC. As amostras de tripa plástica foram produzidas pela empresa Spel Embalagens Ltda. As amostras de grampo de alumínio foram solicitadas à empresa Poly-Clip System Ltda.

As análises laboratoriais foram realizadas nos laboratórios do Centro de Tecnologia de Carnes da empresa BRF S/A, localizado na cidade de Videira/SC e no laboratório do Centro de Tecnologia e Inovação da Dupont, localizado em Paulínia/SP.

3.1. MATERIAL

Para realização dos experimentos, foram utilizadas matérias-primas necessárias para produção de uma emulsão cárnea, incluindo peito de frango cru, proveniente da unidade produtora da BRF de Videira/SC; água e gelo; sal refinado com iodo do fornecedor Romani S/A Indústria e Comércio de Sal; tripolifosfato de sódio do fornecedor ICL Brasil Ltda com grau de pureza $\geq 90\%$; três tipos distintos de tripa plástica produzidos pela empresa Spel Embalagens Ltda, uma com Poliamida na camada interna, outra com Polietileno na camada interna e a outra com Poliamida + Surlyn® na camada interna, todas com calibre nominal de 60 mm.

3.2 MÉTODOS

Para avaliar o efeito das diferentes camadas internas das tripas plásticas, empregadas como envoltórios de produtos cárneos, sobre a aderência da proteína da carne, foram consideradas duas formulações diferentes para a emulsão cárnea. A primeira delas foi considerada uma emulsão cárnea padrão, a qual foi elaborada a partir da adaptação da literatura para replicação, chamada de Formulação 1, conforme descrição da Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição da Formulação 1.

| Matéria-Prima | Quantidade |
|--|-------------------|
| Peito de frango moído em disco de 5 mm | 2.000g |
| Água/gelo | 400g |
| Sal | 80g |
| Tripolifosfato de sódio | 12g |

Fonte: Adaptado de BARBUT (2002).

A segunda proposta de emulsão cárnea foi elaborada com uma quantidade maior de lipídios, chamada de Formulação 2. Os testes da Formulação 2 foram realizados para comparar com os resultados dos testes da Formulação 1. Assim, todo o delineamento experimental foi feito com base na Formulação 1 e aplicado na Formulação 2.

3.2.1 Delineamento Experimental

Com o objetivo de determinar a influência das diferentes camadas internas das tripas plásticas sobre os resultados de aderência da proteína da emulsão cárnea de duas formulações diferentes, foi delineado o planejamento experimental, visando à obtenção de conclusões objetivas com base nos resultados obtidos em relação à força de aderência da proteína da carne e gramatura da proteína aderida à tripa e analisados através de métodos estatísticos.

Foram consideradas duas emulsões cárneas com formulações distintas, embutidas em três tipos de tripa plástica com diferentes camadas internas (PA, PE e PA + Surlyn®).

Inicialmente, a emulsão cárnea da Formulação 1 foi preparada e embutida em 5 peças de cada tripa plástica com PA, PE e PA + Surlyn® na camada interna. Após cozimento e resfriamento das peças, foram realizados os ensaios de força de aderência da proteína da carne e gramatura da proteína da carne aderida à tripa para verificar se os métodos determinados estavam de acordo com a necessidade do estudo. A partir dos resultados obtidos nesse ensaio, foi possível definir o número adequado de peças embutidas por formulação e por tipo de tripa através da análise de cálculo do tamanho da amostra do programa STATISTICA (Sample Size Calculation – Several Means, ANOVA, 1-Way). Com isso, foi determinado que o número adequado de amostras

para este estudo seria de 3 peças embutidas por emulsão cárnea, Formulação 1 e Formulação 2, para cada tripa plástica, sendo um total de 18 amostras a serem avaliadas.

Logo, as respostas do estudo serão força de aderência da proteína da carne e gramatura da proteína aderida à tripa conforme as duas formulações de emulsão cárnea.

3.2.2 Preparo das Tripas Plásticas

Antes do processo de embutimento, os três tipos de tripas plásticas foram submetidos à etapa de hidratação, conforme Figura 42. A hidratação consistiu em manter as tripas imersas em água à temperatura de 23°C por no mínimo 1 hora, conforme recomendado pelo fabricante da tripa através da ficha técnica do material, onde a estrutura molecular do polímero absorveu as moléculas de água para desenvolver suas características em relação à flexibilidade e resistência.

Figura 42 - Etapa de hidratação da tripa.



Fonte: Autor (2012).

3.2.3 Preparo da Emulsão Cárnea

O preparo da emulsão cárnea da Formulação 1 foi realizado na planta piloto da BRF, onde o peito de frango inteiro foi moído em disco de 5 mm em um moedor, conforme Figura 43.

Figura 43 - Peito de frango inteiro (à esquerda) e moído em disco de 5mm (à direita).



Fonte: Autor (2012).

A temperatura do peito de frango moído foi mantida abaixo de 4°C, de acordo com o registro da Figura 44, a qual foi medido através de um termômetro de espeto.

Figura 44 - Peito de frango moído em disco de 5mm com temperatura abaixo de 4°C.



Fonte: Autor (2012).

Em seguida, o peito de frango moído foi colocado na misturadeira com os demais ingredientes não cárneos (sal, tripolifosfato de sódio e água/gelo) e foram misturados por 10 minutos, conforme ilustrado na Figura 45.

Figura 45 - Mistura dos ingredientes na misturadeira.



Fonte: Autor (2012).

A temperatura da massa durante e após a mistura foi mantida até 12°C, de acordo com a Figura 46.

Figura 46 - Emulsão cárnea com temperatura até +12°C.



Fonte: Autor (2012).

Já o preparo da emulsão cárnea da Formulação 2, rica em lipídios, foi realizado na planta piloto da BRF S/A localizada em Videira/SC.

3.2.4 Embutimento

A emulsão cárnea foi embutida nas tripas plásticas com camada interna de PA, de PE e de PA + Surlyn[®], previamente hidratadas. Foram embutidas 3 peças por formulação (1 e 2) em cada tripa plástica com peso de aproximadamente 500g.

De acordo com a equação 5 ($LP = \pi \cdot D/2$), como a largura plana de todas as tripas plásticas utilizadas nos experimentos é de 90 mm, logo o diâmetro do produto embutido sem pressão é de 57,3 mm. Porém, considerando que a pressão de embutimento varia de 5 a 8%, o calibre de embutimento mínimo e máximo será, respectivamente, 61,1 mm e 61,9 mm. A pressão da massa durante o embutimento é importante para manter o padrão do produto e as características visuais e de qualidade percebida, sem formação de bolsas ou bolhas.

Em seguida, todas as peças embutidas foram enviadas para o cozimento.

3.2.5 Cozimento e Resfriamento

O cozimento do produto foi feito em um tacho com controle de temperatura da água entre 80 e 82°C, até que o centro da peça atingisse 72°C, a qual foi controlada através de um termômetro de espeto, conforme Figura 47.

Figura 47 - Cozimento do produto.



Fonte: Autor (2012).

O resfriamento das peças embutidas foi realizado com gelo e água fria até que o centro do produto atingisse 7°C, verificado através de um termômetro de espeto.

3.3 ANÁLISES

As análises de caracterização das tripas plásticas foram realizadas no laboratório de embalagens da BRF S/A e da Dupont.

Já as análises de força de aderência da proteína da carne e gramatura da proteína da carne aderida à tripa foram realizadas no laboratório de embalagens da BRF, após embutimento, cozimento e resfriamento das peças.

As análises de pH, Aw, lipídios, proteína, umidade e cinzas do produto foram realizadas no laboratório físico-químico da BRF, também após embutimento, cozimento e resfriamento das peças.

3.3.1 Caracterização da Tripa Plástica

As análises descritas a seguir tiveram os seus corpos-de-prova preparados de forma distinta para cada uma das análises. Dessa forma, as análises foram realizadas individualmente e independentemente uma das outras.

Tensão Superficial

O ensaio de tensão superficial foi realizado no laboratório de embalagens da BRF, onde os corpos-de-prova das tripas plásticas foram cortados com dimensões de 15cmx30cm e condicionados em temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa por um período mínimo de 40 horas previamente à realização do ensaio, conforme norma ASTM D2578-99a (2001).

Foi tomado o máximo de cuidado para evitar que a superfície do corpo-de-prova fosse manuseada nas áreas onde o ensaio foi realizado, pois qualquer impureza poderia alterar o resultado da avaliação.

Para medir a tensão superficial nos corpos-de-prova das tripas plásticas, foram utilizadas canetas com concentrações de solução de formamida e de etileno glico monoetil éter apresentadas na Tabela 6, cujos modelos são as próprias medidas de tensão de umectação das canetas: 36, 38, 40, 42 e 44 dinas/cm, fabricadas por Corona Brasil Indústria Comércio e Representações Ltda em Indaiatuba/SP. Os ensaios foram realizados em triplicata para cada concentração de formamida e

etileno glicol monoetil éter, utilizando-se progressivamente as soluções de tensão superficial crescente; caso contrário, a tensão superficial poderia ser determinada erroneamente.

Tabela 6 - Concentrações de Formamida e Etileno glicol monoetil utilizadas para medir a tensão superficial das tripas plásticas.

| Tensão de umectação (dyn/cm) | Formamida (% v/v) | Etileno glicol monoetil éter (% v/v) |
|---|------------------------------|---|
| 36,0 | 42,5 | 57,5 |
| 38,0 | 54,0 | 46,0 |
| 40,0 | 63,5 | 36,5 |
| 42,0 | 71,5 | 28,5 |
| 44,0 | 78,0 | 22,0 |

As pontas das canetas foram deslizadas em torno de 2,5cm sobre a superfície das camadas internas das tripas plásticas de forma a produzir uma faixa contínua da solução de tensão superficial composta por um percentual de formamida e um percentual de etileno gilco monoetil éter. Se a faixa permanecesse uniforme de 2 a 4 segundos, rompendo-se e formando gotículas logo após esse período, significaria que a superfície estaria com tratamento igual ao nível da solução da caneta utilizada, expressa em dyn/cm. Se ocorresse o rompimento e a formação de gotículas imediatamente, desfazendo a faixa, a superfície estaria com uma tensão superficial maior do que a concentração da caneta, sendo necessário avaliar com uma caneta de concentração maior de formamida, ou seja, maior valor da tensão de umectação.

Calorimetria Diferencial de Varredura

As análises de Calorimetria Diferencial por Varredura (*DSC – Differential Scanning Calorimetry*) foram realizadas no laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia da empresa química Dupont, localizado em Paulínia/SP, sendo que a metodologia foi baseada na norma ASTM D3418-12E1.

Através do equipamento *TA Instruments 4100 (2010 DSC cell)*, os corpos-de-prova das tripas plásticas de aproximadamente 10mg foram condicionadas, um tipo de tripa por vez, dentro do recipiente de análise à temperatura de 210°C por um minuto e, em seguida, resfriadas

à razão de 10°C/min até 25°C. As curvas de aquecimento para identificar a temperatura de fusão dos polímeros presentes no filme foram geradas para uma faixa de aquecimento de 0 a 250°C a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, sendo utilizado o nitrogênio na atmosfera do equipamento. As análises foram realizadas em triplicata, ou seja, 3 testes para cada tipo de tripa sem ter sido hidratada ou utilizada no embutimento da emulsão cárnea.

O resultado foi apresentado através de um gráfico que mostra a temperatura de fusão, temperatura de cristalização (resfriamento) e novamente a temperatura de fusão de cada tripa plástica. A informação no gráfico sobre a temperatura de fusão na segunda vez em que o material é aquecido indica o ponto de fusão dos materiais que compõem a estrutura da tripa plástica, confirmado na literatura pelo próprio laboratório.

Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

A técnica de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (*FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) consiste em incidir radiação eletromagnética correspondente à faixa do infravermelho (4000 e 400 cm^{-1}) no corpo-de-prova polimérico. A energia associada a esses comprimentos de onda, uma vez absorvida pela molécula, converte-se em energia de vibração molecular.

Os grupos funcionais presentes nas estruturas das tripas plásticas foram identificados por análise de espectroscopia de infravermelho. Essas análises foram realizadas no laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia da empresa química Dupont localizado em Paulínia/SP, sendo que a metodologia foi baseada na norma ASTM D6348-03, utilizando o equipamento *NEXUS 670 FT-IR Spectrometer* com *ATR*, cujos corpos-de-prova de cada tripa plástica foram cortados com dimensões suficientes para atender os requisitos do equipamento, em torno de 10cmx7cm, e submetidos ao ensaio. Para identificação dos materiais por FTIR não são aplicados padrões de amostragem.

O resultado foi apresentado através de um gráfico chamado de espectro de infravermelho, constituído por picos e bandas de absorção, cujas posições e intensidades correspondem a ligações e grupamentos químicos específicos presentes no material analisado. Utilizando-se as tabelas presentes na literatura, pode-se definir as unidades químicas.

O espectro no infravermelho é normalmente apresentado em transmitância, expressa em porcentagem, *versus* o número de ondas, expresso em cm^{-1} . É usual que no espectro o número de ondas seja representado em escala linear, a qual é expandida abaixo de 2000 cm^{-1} .

Microscopia Ótica

A medição das espessuras de cada camada das tripas plásticas foi realizada através do ensaio de Microscopia Ótica. Estas análises foram realizadas no laboratório do Centro de Inovação e Tecnologia da empresa química Dupont localizado em Paulínia/SP, as quais possibilitaram a visualização de imagens capturadas de secções transversais das tripas plásticas com um aumento de 400 vezes. O dimensional do corpo-de-prova foi de aproximadamente 5 cm de comprimento e o ensaio foi realizado em triplicata por tipo de tripa sem ter sido hidratada ou utilizada no embutimento da emulsão cárnea.

O resultado foi expresso através de imagens capturadas durante a análise do microscópio, e as espessuras de cada camada da tripa plástica foram estimadas.

Ensaio Mecânicos

A análise de resistência à tração é realizada através do equipamento universal de ensaios mecânicos, conforme Figura 48, marca INSTRON, modelo 5565.

Figura 48 - Dinamômetro Universal de Ensaio, marca *INSTRON*, modelo 5565.



Fonte: Autor (2012).

Foram cortados 5 corpos-de-prova de cada tripa plástica para cada direção de máquina (DM) e direção transversal (DT) do filme sem quaisquer danos ou imperfeições visíveis e perfeitamente paralelas à direção ensaiada, em dimensões de 15cmx25cm. A distância entre as garras foi de 100 mm e a velocidade de tração no ensaio foi de 50 mm/min, conforme norma ASTM D882-00 (2001).

O teste foi feito com todas as tripas hidratadas e sem hidratação para avaliar o efeito da água na resistência do material.

Os corpos-de-prova das tripas não hidratadas foram cortados e submetidos ao ensaio de tração. Já os corpos-de-prova das tripas plásticas hidratadas foram primeiramente cortados e depois mergulhados na água à temperatura de 23°C por 1 hora, conforme recomendação do fabricante. Passado o período determinado para hidratação, os corpos-de-prova foram retirados da cuba um a um, secos superficialmente com papel toalha e submetidos ao ensaio de tração.

Os resultados foram transmitidos para um computador através de um *software*, em forma de tabela, onde constam os valores encontrados de resistência à tração na ruptura e porcentagem de alongamento na ruptura, suas médias e desvios-padrões.

3.3.2 Análises Físico-Químicas do Produto

O pH do produto foi determinado através do equipamento PHMETRO QUIMIS do fornecedor Callmex.

A atividade de água (Aw) do produto foi determinada pelo uso do analisador de água AQUALAB fornecedor Braseq.

A determinação de proteínas foi realizada utilizando o método de Kjeldahl, que se baseia na determinação do nitrogênio total.

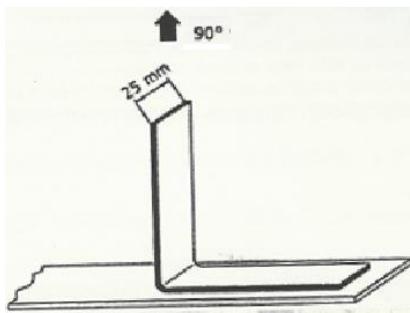
A quantidade de lipídios foi determinada pelo método de Soxhlet, através do qual o solvente orgânico extrai os lipídios que são quantificados pela pesagem do resíduo após a eliminação daquele solvente.

3.3.3 Força de Aderência da Proteína da Carne

Para realizar a análise de força de aderência da proteína da carne na tripa plástica, foi determinado um procedimento de ensaio através da adaptação dos parâmetros empregados na análise de Resistência à Tração, utilizada em embalagens flexíveis conforme explicado anteriormente (Resistência Mecânica), e análise de Adesividade 90°

utilizada em etiquetas autoadesivas sensíveis à pressão conforme norma da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 15394:2006, ilustrado na Figura 49.

Figura 49 - Ângulo de remoção (90°) do corpo-de-prova aderido à placa de ensaio.



Fonte: ABNT NBR 15394:2006.

Este método de ensaio permitiu determinar a força necessária para separar a tripa plástica do produto. Os parâmetros de resistência à tração foram ajustados para que o comprimento de tripa removido da peça fosse de 35mm no sentido longitudinal e 25mm no sentido transversal a uma velocidade de 50 mm/min, ou seja, os 5 corpos-de-prova foram preparados nas tripas plásticas das peças embutidas com emulsão cárnea, cozidas e resfriadas, conforme Figura 50. Foi feito um corte no sentido longitudinal e transversal da peça com ajuda de um gabarito de 25mmx100mm.

Figura 50 - Preparação da amostra - corte.



Fonte: Autor (2012).

Após adaptar a altura da peça à garra superior do equipamento universal de ensaios mecânicos, conforme ilustrado na Figura 51, foi iniciado o ensaio de tração, onde a garra percorreu 35mm e os resultados encontrados foram os valores da força com que a tripa estava aderida à proteína da carne, suas médias e desvios-padrões, os quais foram transmitidos através de um *software* para um computador em forma de tabela.

Figura 51 - Ajuste da peça no equipamento antes de iniciar o ensaio.

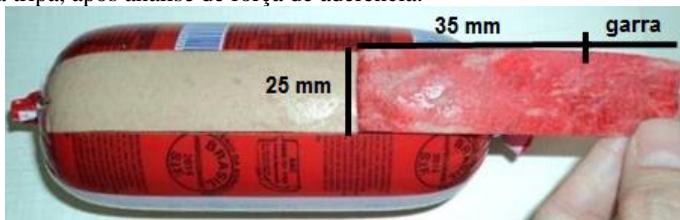


Fonte: Autor (2012).

3.3.4 Gramatura da Proteína da Carne Aderida à Tripa

A gramatura da proteína da carne aderida à tripa foi obtida através dos corpos-de-prova do ensaio de força de aderência uma vez que é importante correlacionar a gramatura de cada amostra com a força de aderência respectiva. A Figura 52 ilustra a obtenção do corpo de prova para medição da gramatura. A parte que estava presa à garra, previamente marcada, foi desconsiderada e os 35mm seguintes foram utilizados para análise de gramatura.

Figura 52 - Obtenção do corpo de prova para medição da gramatura de massa aderida na tripa, após análise de força de aderência.



Fonte: Autor (2012).

A tripa retirada do produto, conforme Figura 55, foi pesada em balança analítica com precisão de 0,0001g e foi chamado de Massa 1. Em seguida, os corpos-de-prova foram lavados com água da torneira para retirar o produto aderido, secados com papel toalha e colocados em um dessecador por 24h. Após esse período, os corpos-de-prova foram novamente pesados em balança analítica com precisão de 0,0001g e chamados de Massa 2.

Conforme a norma ASTM D646-96(01) (2001), a gramatura da proteína da carne aderida à tripa foi obtida através da diferença da Massa 1 e da Massa 2, em relação à área do corpo-de-prova, expresso em g/m²:

$$\text{Gramatura} = (\text{Massa 1}) - (\text{Massa 2}) / \text{Área} \quad (\text{equação 6})$$

3.3.5 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada através do software *STATISTICA* versão 7.0 (2004). As médias dos resultados da força de aderência da proteína da carne e gramatura da proteína da carne aderida à tripa, obtidas durante as análises laboratoriais, foram submetidas à análise de variância (ANOVA) para demonstrar se existe diferença estatisticamente significativa entre as diferentes tripas plásticas estudadas.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA TRIPA PLÁSTICA

4.1.1 Tensão Superficial

A análise realizada na tripa plástica com PA na camada interna indicou que a faixa contínua da solução de tensão superficial de 36 dyn/cm (42,5% formamida e 57,5% etileno glicol monoetil éter) rompia e formava gotículas imediatamente nos 3 corpos-de-prova. Em seguida, foi verificado que a superfície apresentava uma tensão superficial maior. Já a faixa contínua da solução de tensão superficial de 38 dyn/cm permaneceu uniforme por aproximadamente 4 segundos antes de se romper e formar gotículas nos 3 corpos-de-prova. Foi também verificado o comportamento com a solução de tensão superficial de 40 dyn/cm; porém, nos três corpos-de-prova, a faixa contínua formou gotículas imediatamente. Com isso, foi confirmada a tensão superficial da superfície da tripa plástica com PA na camada interna de 38 dyn/cm, com 54% de formamida e 46% de etileno glicol monoetil éter, ou seja, 38 dyn/cm é a energia exigida pela superfície do material para neutralizar as forças desequilibradas das suas moléculas.

A análise de um corpo-de-prova da tripa plástica com PE na camada interna mostrou que a faixa contínua da solução de tensão superficial de 36 dyn/cm, com 42,5% de formamida e 57,5% etileno glicol monoetil éter, permaneceu uniforme e, após 4 segundos, rompeu-se, formando gotículas. Os outros dois corpos-de-prova tiveram a faixa contínua desfeita imediatamente após ser colocada a solução de tensão superficial de 36 dyn/cm em contato com a superfície. Foi avaliada a solução de tensão superficial de 38 dyn/cm; porém, a faixa contínua formou gotículas imediatamente nos três corpos-de-prova. Logo, foi confirmado que a tensão superficial da tripa plástica com PE na camada interna é menor ou igual a 36 dyn/cm, ou seja, a energia exigida pela superfície do material para neutralizar as forças desequilibradas das suas moléculas é menor que a da tripa plástica com PA na camada interna.

Já a análise da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna apresentou a formação imediata de gotículas na faixa contínua das

soluções de tensão superficial de 36, 38 e 40 dyn/cm, nos três corpos-de-prova de cada solução. A faixa contínua da solução de tensão superficial de 42 dyn/cm, com 71,5% de formamida e 28,5% de etileno glicol monoetil éter, permaneceu uniforme por aproximadamente 4 segundos, rompendo-se e formando gotículas após esse período. A faixa contínua da solução de tensão superficial de 44 dyn/cm formou gotículas imediatamente nos três corpos-de-prova. Portanto, confirmouse a tensão superficial da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna de 44 dyn/cm, cuja energia exigida pela superfície do material para neutralizar as forças desequilibradas das suas moléculas é maior que a da tripa plástica com PA e PE na camada interna.

Esses resultados indicam que as superfícies com baixos valores de tensão superficial, ou seja, baixa energia exigida pela superfície do material para neutralizar as forças desequilibradas das suas moléculas, apresentam maiores dificuldades de adesão, porque, além de possuírem baixa “molhabilidade”, são apolares, ou seja, incompatíveis com água e com a proteína da carne, ambas consideradas polares.

A Tabela 7 apresenta os resultados de tensão superficial das tripas plásticas com diferentes camadas internas e seus respectivos percentuais de formamida e etileno glicol monoetil éter.

Tabela 7 - Resultado de tensão superficial das tripas plásticas com diferentes camadas internas.

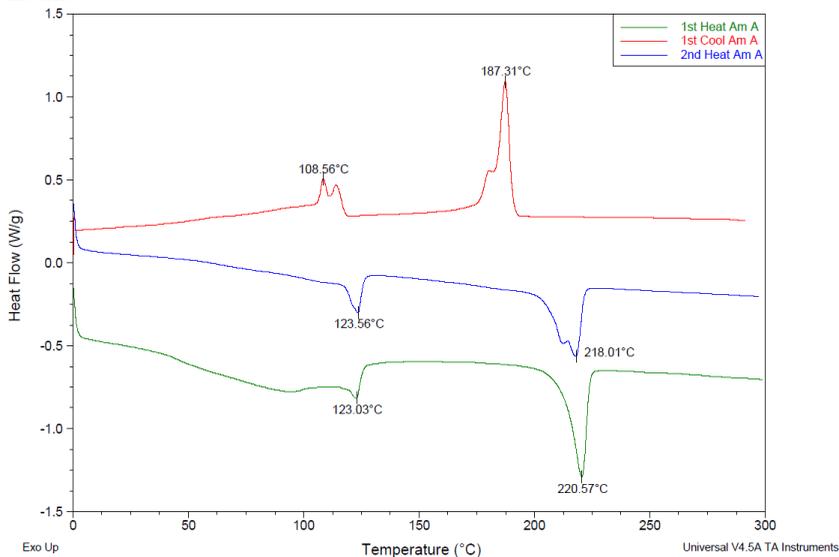
| Camada Interna | Tensão Superficial [dynas/cm] | Formamida [% v/v] | Etileno glicol monoetil éter [% v/v] |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|---|
| PA | 38 | 54.0 | 46.0 |
| PE | ≤ 36 | ≤ 42.5 | ≤ 57.5 |
| PA + Surlyn® | 42 | 71.5 | 28.5 |

4.1.2 Calorimetria Diferencial de Varredura

De acordo com os resultados das análises de DSC realizadas nos três corpos-de-prova da tripa plástica com PA na camada interna, verificou-se que a composição da estrutura da tripa é de Polietileno e Poliamida. A Figura 53 apresenta os pontos de fusão (linha azul) e

resfriamento (linha vermelha) da tripa plástica com PA na camada interna.

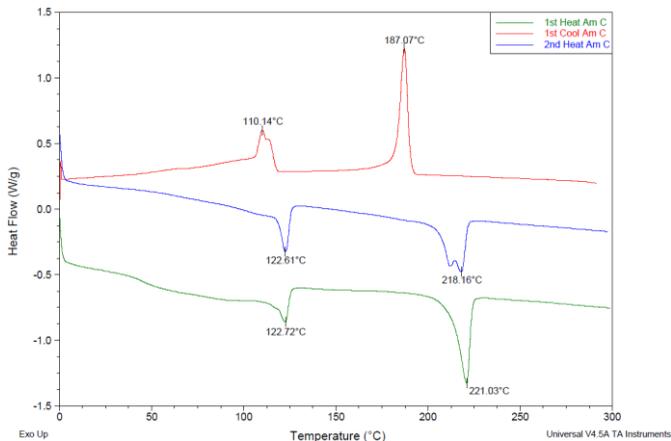
Figura 53 - Gráfico de DSC referente à tripa plástica com PA na camada interna.



Os pontos de fusão destacados na linha azul do gráfico da Figura 53, 123,56°C e 218,01°C, indicam a presença de PELBD e de Nylon 6, respectivamente. A temperatura de fusão do PELBD é de 118 a 125°C e a do Nylon 6 é de 210 a 220°C.

As análises de DSC realizadas nos três corpos-de-prova da tripa plástica com PE na camada interna indicaram a presença de Polietileno e Poliamida na composição da estrutura da tripa. A Figura 54 apresenta os pontos de fusão (linha azul) e resfriamento (linha vermelha) da tripa de poliamida com PE na camada interna.

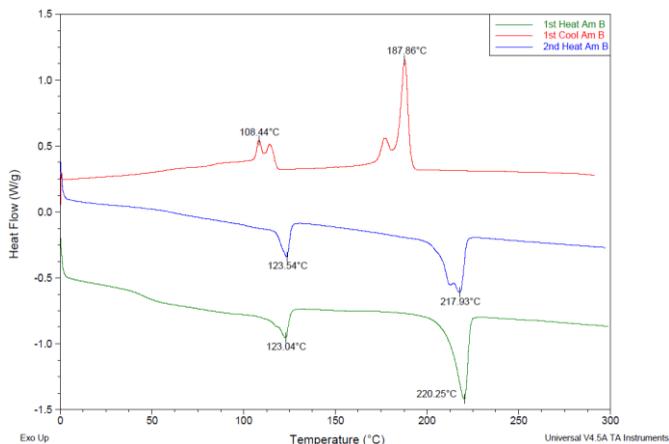
Figura 54 - Gráfico de DSC referente à tripa plástica com PE na camada interna.



Os pontos de fusão destacados na linha azul do gráfico da Figura 54, 122,61°C e 218,16°C, mostram a presença de PELBD e de Nylon 6, respectivamente; a temperatura de fusão do PELBD é de 118 a 125°C e a do Nylon 6 é de 210 a 220°C.

As análises de DSC realizadas nos três corpos-de-prova da tripa plástica com PA + Surllyn® na camada interna indicaram a presença de PE e Poliamida na composição da estrutura da tripa. A Figura 55 apresentou os pontos de fusão (linha azul) e resfriamento (linha vermelha) da tripa plástica com PA + Surllyn® na camada interna.

Figura 55 - Gráfico de DSC referente à tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna.



Os pontos de fusão em destaque na linha azul do gráfico apresentado na Figura 55 é de 123,54°C e 217,93°C, indicando a presença de PELBD e Nylon 6, respectivamente. A temperatura de fusão do PELBD é de 118 a 125°C e a do Nylon 6 é de 210 a 220°C.

Os resultados das análises de DSC isoladamente não evidenciam diferenças entre as tripas plásticas, as quais são distintas em relação às camadas internas. Logo, é necessário complementar essas informações com análises de FTIR e Microscopia Ótica.

A Tabela 8 mostra os pontos de fusão encontrados nas análises de DSC das tripas plásticas com diferentes camadas internas e suas respectivas composições.

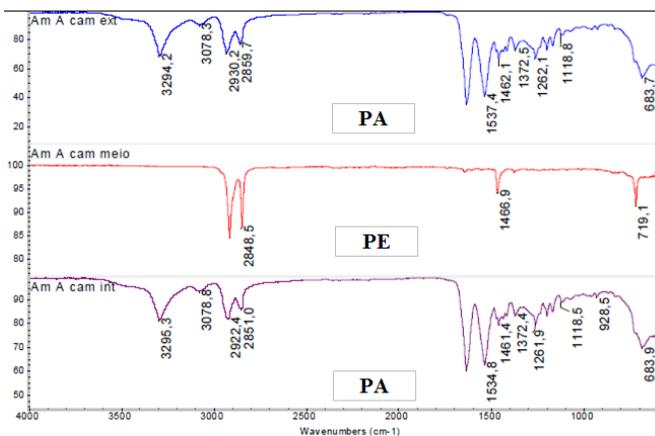
Tabela 8 - Resultados das análises de DSC das tripas plásticas com diferentes camadas internas.

| Camada Interna | Ponto de Fusão DSC [°C] | Composição |
|----------------|-------------------------|------------|
| PA | 123,56 | PELBD |
| | 218,01 | NYLON 6 |
| PE | 122,61 | PELBD |
| | 218,16 | NYLON 6 |
| PA+ Surlyn® | 123,54 | PELBD |
| | 217,93 | NYLON 6 |

4.1.3 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

A análise de FTIR da tripa plástica com PA na camada interna determinou que os grupos funcionais presentes na composição polimérica eram PA na camada externa, PE na camada do meio e PA na camada interna. A Figura 56 apresenta um gráfico do espectro de infravermelho da tripa plástica com PA na camada interna, referente à secção transversal da tripa.

Figura 56 - Espectro de infravermelho da tripa plástica com PA na camada interna.

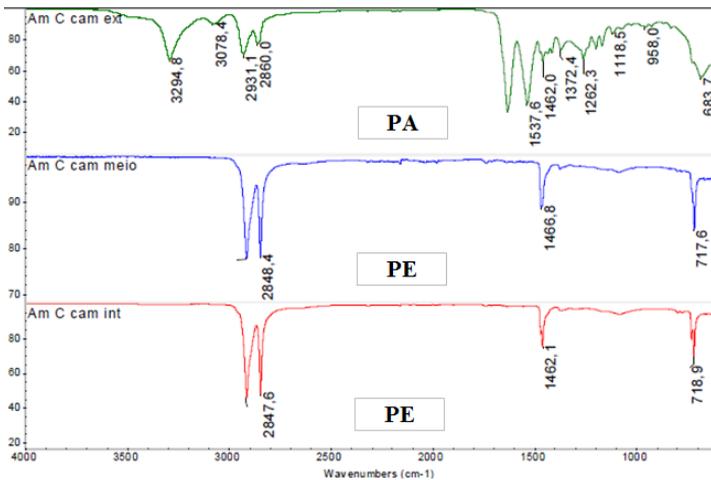


De acordo com a Figura 56, a camada externa da tripa plástica com PA na camada interna, identificada pela linha azul do gráfico, apresentou o perfil do espectro de infravermelho do Nylon 6.6 (conforme Figura 33 do item 2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas), com destaque para a banda de absorção de $1537,4\text{ cm}^{-1}$, a qual indicou a presença do grupamento específico C–N, ou seja, presença de PA na camada externa. O espectro de infravermelho do Nylon 6.6 na literatura indica uma banda de $1547,0\text{ cm}^{-1}$. A camada do meio, determinada pela linha vermelha do gráfico, apresentou a banda de absorção de $1466,9\text{ cm}^{-1}$, a qual indicou a presença do grupamento específico $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$, ou seja, presença de PE na camada do meio conforme perfil apresentado na Figura 32 (item 2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas). O espectro de infravermelho do Polietileno na literatura indica uma banda de $1463,3\text{ cm}^{-1}$. Já a camada interna da tripa, representada pela linha roxa do gráfico, apresentou a banda de absorção de $1534,8\text{ cm}^{-1}$, a qual indicou a presença do grupamento específico C–N, ou seja, presença de PA na camada externa.

Com isso, confirmou-se que a composição da estrutura da tripa plástica com PA na camada interna está de acordo com a estrutura básica apresentada na Figura 35 (Capítulo II – 2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas), tripa com cinco camadas e PA na camada interna.

A análise de FTIR da tripa plástica com PE na camada interna determinou que os grupos funcionais presentes na composição polimérica eram PA na camada externa, PE na camada do meio e na camada interna. A Figura 57 apresenta um gráfico do espectro de infravermelho da tripa plástica com PE na camada interna, referente à secção transversal da tripa.

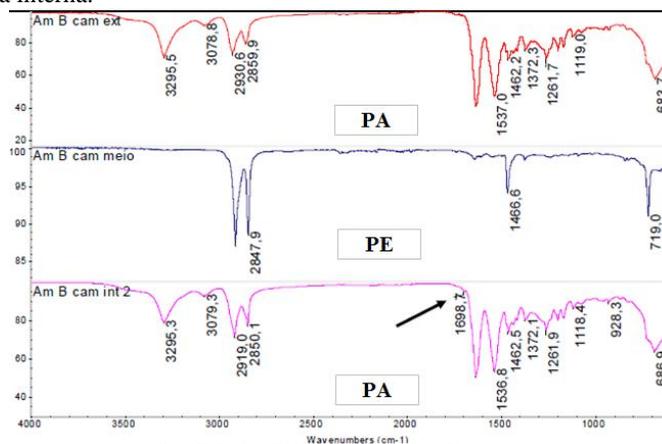
Figura 57 - Espectro de infravermelho da tripa plástica com PE na camada interna.



Conforme a Figura 57, a camada externa da tripa plástica com PE na camada interna, identificada pela linha verde do gráfico, apresentou a banda de absorção de $1537,6 \text{ cm}^{-1}$, a qual indicou a presença do grupamento específico C–N, ou seja, presença de PA na camada externa considerando o perfil do espectro de infravermelho do Nylon 6.6 (conforme Figura 33 do item 2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas), com destaque para a banda de absorção de $1537,6 \text{ cm}^{-1}$, a qual indicou a presença do grupamento específico C–N, ou seja, presença de PA na camada externa. O espectro de infravermelho do Nylon 6.6 na literatura indica uma banda de $1547,0 \text{ cm}^{-1}$. A camada do meio, determinada pela linha azul do gráfico, apresentou a banda de absorção de $1466,8 \text{ cm}^{-1}$, a qual indicou a presença do grupamento específico $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$, ou seja, presença de PE na camada do meio; assim como a camada interna, com a banda de absorção de $1462,1 \text{ cm}^{-1}$, conforme perfil apresentado na Figura 32 (item 2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas). O espectro de infravermelho do Polietileno na literatura indica uma banda de $1463,3 \text{ cm}^{-1}$. Logo, confirmou-se que a composição da estrutura da tripa plástica com PE na camada interna está de acordo com a estrutura básica apresentada na Figura 33 (Capítulo II – 2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas), tripa com cinco camadas e PE na camada interna.

Já a análise de FTIR da tripa plástica com PA + Surlyn[®] na camada interna apontou que os grupos funcionais presentes na composição polimérica eram PA na camada externa, PE na camada do meio e PA na camada interna. A Figura 58 apresenta um gráfico do espectro de infravermelho da tripa plástica com PA + Surlyn[®] na camada interna, referente à secção transversal da tripa.

Figura 58 - Espectro infravermelho da tripa plástica com PA + Surlyn[®] na camada interna.



Conforme Figura 58, a camada externa da tripa plástica com PA + Surlyn[®] na camada interna, identificada pela linha vermelha do gráfico, apresentou a banda de absorção de 1537,0 cm⁻¹, a qual indicou a presença do grupamento específico C–N, ou seja, presença de PA na camada externa, conforme perfil apresentado na Figura 33. A camada do meio, determinada pela linha azul do gráfico, com a banda de absorção de 1466,6 cm⁻¹, indicou a presença do grupamento específico H₂C=CH₂, ou seja, presença de PE na camada do meio. A camada interna, representada pela linha rosa do gráfico, apresentou uma banda de absorção de 1536,8 cm⁻¹ (item 2.4.2 Caracterização das Tripas Plásticas), a qual indicou a presença do grupamento específico C–N, ou seja, presença de PA na camada externa, conforme Figura 33, e outra banda de absorção de 1698,7 cm⁻¹, a qual indicou a presença do grupamento específico C=O, ou seja, a presença de Ionômero. O

espectro de infravermelho do Ionômero na literatura indica uma banda de 1698,32 cm^{-1} .

Dessa forma, foi confirmado que a composição da estrutura da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna está de acordo com a estrutura básica apresentada na Figura 34 (Capítulo II – 2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas), tripa com cinco camadas e PA + Ionômero na camada interna.

Portanto, de acordo com as análises de FTIR realizadas nas tripas plásticas com PA, PE e PA + Surlyn® na camada interna, as diferenças entre as tripas plásticas foram comprovadas e as composições de cada estrutura foram apresentadas conforme sugeridas pela literatura e praticado no mercado.

A Tabela 9 apresenta os resultados das análises de composição das tripas plásticas, conforme banda de absorção de energia eletromagnética observada nas figuras.

Tabela 9 - Composição das tripas plásticas com diferentes camadas internas através da análise de FTIR.

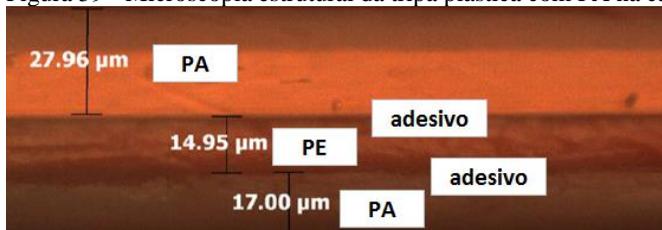
| Camada Interna | Composição da tripa [camada externa → camada interna] |
|-----------------------|--|
| PA | PA / PE / PA |
| PE | PA / PE / PE |
| PA+ Surlyn® | PA / PE / PA + Ionômero |

4.1.4 Microscopia Ótica

Como complemento da análise de FTIR e DSC, a microscopia ótica permite que a distribuição das camadas que compõem as tripas plásticas seja visualizada.

A Figura 59 apresenta a microscopia estrutural de um corte na secção transversal da tripa plástica com PA na camada interna.

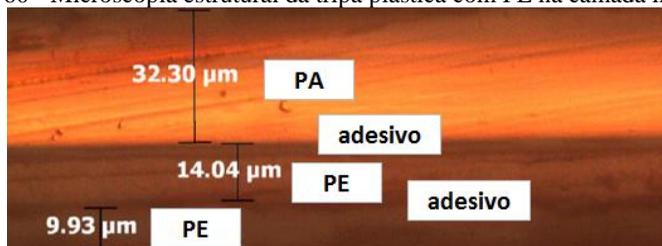
Figura 59 - Microscopia estrutural da tripa plástica com PA na camada interna.



De acordo com a Figura 59, a composição da tripa é de PA na camada externa com 27,96μm de espessura (aproximadamente 47% do total); PE e adesivos na camada do meio com 14,95μm de espessura (aproximadamente 25% do total), e PA na camada interna com 17,00μm de espessura (aproximadamente 28% da espessura total). Com isso, a ilustração da composição da tripa plástica com PA na camada interna está de acordo com a Figura 38 apresentada no Capítulo II (2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas).

A Figura 60 apresenta a microscopia estrutural de um corte na secção transversal da tripa de poliamida com PE na camada interna.

Figura 60 - Microscopia estrutural da tripa plástica com PE na camada interna.



Conforme Figura 60, a composição da tripa é de PA na camada externa com 32,30μm de espessura (aproximadamente 57% do total); PE e adesivos na camada do meio com 14,04μm de espessura (aproximadamente 25% do total), e PE na camada interna com 9,93μm de espessura (aproximadamente 18% da espessura total). Logo, a ilustração da composição da tripa plástica com PE na camada interna

está de acordo com a Figura 39 apresentada no Capítulo II (2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas).

Já a Figura 61 apresenta a microscopia estrutural de um corte na secção transversal da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna.

Figura 61 - Microscopia estrutural da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna.



A composição da tripa plástica apresentada na Figura 61 é de PA na camada externa, com 32,29µm de espessura (aproximadamente 58% do total); PE e adesivos na camada do meio, com 15,52µm de espessura (aproximadamente 27% do total), e PA na camada interna, com 8,10µm de espessura (aproximadamente 15% da espessura total). As análises de DSC e FTIR comprovaram que a camada interna dessa tripa possui Ionômero junto com a PA. Dessa forma, a ilustração da composição da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna está de acordo com a Figura 40 apresentada no Capítulo II (2.4.3 Camada Interna das Tripas Plásticas).

A composição da camada externa é a mesma para todas as tripas plásticas. As tripas plásticas com camada interna de PE e de PA + Surlyn® apresentaram espessura maior de PA na camada externa, em torno de 57%, para compensar a resistência mecânica da estrutura; porém, a tripa plástica com camada interna de PA apresentou espessura menor de PA na camada externa, em torno de 47%, uma vez que a camada interna dessa tripa também possui PA, em torno de 28%, garantindo a resistência mecânica do material.

A camada do meio é praticamente a mesma em todas as tripas de poliamida, aproximadamente 25% da espessura total. A presença de PE na estrutura da tripa de poliamida é para ajudar na barreira ao vapor d'água e conferir elasticidade ao material.

A Tabela 10 apresenta as composições das tripas plásticas, conforme análise de microscopia ótica.

Tabela 10 - Composição das tripas plásticas conforme Microscopia Ótica.

| Camada Interna | Composição da tripa [camada externa → camada interna] |
|-----------------------|--|
| PA | PA / Adesivo / PE / Adesivo / PA |
| PE | PA / Adesivo / PE / Adesivo / PE |
| PA+ Surlyn® | PA / Adesivo / PE / Adesivo / PA + Ionômero |

4.1.5 Ensaios de Resistência Mecânica

Os resultados das análises de caracterização mecânica das tripas plásticas com PA, PE e PA + Surlyn® foram apresentados na Tabela 11. A espessura é de 55µm para todas as tripas plásticas.

Tabela 11 - Resultados das análises de caracterização mecânica das tripas plásticas de acordo com a camada interna.

| Análises das Tripas Plásticas | Antes da hidratação | | Após hidratação | |
|---|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | DM | DT | DM | DT |
| PA | | | | |
| Resistência à Tração [kgf/cm ²] | 1230,88 - 1293,63 | 1862,92 - 1930,91 | 846,46 - 903,73 | 1418,51 - 1606,39 |
| Alongamento [%] | 112,78 - 126,64 | 69,33 - 76,84 | 120,93 - 132,65 | 84,23 - 98,12 |
| PE | | | | |
| Resistência à Tração [kgf/cm ²] | 940,00 - 975,14 | 1626,96 - 1832,65 | 504,96 - 541,35 | 883,61 - 1198,30 |
| Alongamento [%] | 64,54 - 76,62 | 73,77 - 88,52 | 62,04 - 75,16 | 49,77 - 77,92 |
| PA + Surlyn® | | | | |
| Resistência à Tração [kgf/cm ²] | 957,54 - 1028,84 | 1655,36 - 1772,40 | 638,69 - 721,39 | 1309,88 - 1436,06 |
| Alongamento [%] | 76,80 - 90,28 | 67,39 - 75,61 | 84,36 - 99,35 | 74,82 - 90,31 |

DM e DT - Direção de Máquina e Direção Transversal, respectivamente.

Os resultados da análise de resistência à tração da tripa plástica com PA na camada interna apresentaram maior força antes da hidratação na DM e na DT, comparados com os resultados após hidratação. Quando as tripas foram hidratadas, as moléculas de água se alojaram entre as cadeias poliméricas, afastando-se umas das outras; com isso, as forças de atração intermolecular secundária reduziram e a mobilidade das cadeias aumentaram. Como consequência, o material ficou mais elástico e o percentual de alongamento foi maior após a hidratação.

Os valores de resistência à tração na DT foram maiores que na DM, antes e após hidratação, devido à orientação dada ao material no sentido transversal durante a extrusão. É importante que as tripas de poliamida tenham alta resistência mecânica na direção transversal devido à pressão à qual o material costuma ser submetido durante a etapa de embutimento da emulsão cárnea.

Já os resultados da análise de resistência à tração da tripa plástica com PE na camada interna apresentaram maior força antes da hidratação na DM e DT, comparados com os resultados após a hidratação. As moléculas de água afastaram as cadeias poliméricas durante a hidratação, as forças de atração intermolecular secundária reduziram e a mobilidade das cadeias aumentou. Além disso, o PE possui alta barreira à umidade devido à diferença de polaridade com a água, PE é apolar e água é polar. Logo, o material ficou menos elástico e o percentual de alongamento diminuiu após a hidratação.

Assim, a tripa plástica com PE na camada interna precisou de menos força para alongar uma quantidade menor porque é mais rígido antes de hidratar. Os valores de resistência à tração na DT foram maiores que na DM, antes e após hidratação, devido à orientação dada durante a extrusão do material no sentido transversal. É importante que as tripas plásticas tenham alta resistência mecânica na direção transversal devido à pressão à qual o material costuma ser submetido durante a etapa de embutimento da emulsão cárnea.

Os resultados de ensaio de resistência mecânica da tripa de PA + Surlyn® na camada interna apresentaram o mesmo comportamento que a tripa com PA na camada interna. A tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna apresentou maior força antes da hidratação na DM e na DT, comparada com os resultados após hidratação; quando as tripas foram hidratadas, as moléculas de água se alojaram entre as cadeias poliméricas, afastando-se umas das outras; com isso, as forças de

atração intermolecular secundária reduziram e a mobilidade das cadeias aumentou. Consequentemente, o material ficou mais elástico e o percentual de alongamento foi maior após a hidratação.

Após a hidratação, esse mesmo material precisou de menos força para alongar mais porque o material ficou mais elástico. Os valores de resistência à tração na DT foram maiores que na DM, antes e após hidratação, devido à orientação dada ao material no sentido transversal durante a extrusão. É importante que as tripas plásticas tenham alta resistência mecânica na direção transversal devido à pressão à qual o material costuma ser submetido durante a etapa de embutimento da emulsão cárnea.

A resistência à tração da tripa plástica com PA na camada interna foi maior porque a presença de PA melhora a resistência mecânica do material. A presença de Ionômero na tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna diminui a resistência mecânica, uma vez que quanto mais polar for a molécula, mais forte são as forças intermoleculares; e as forças intermoleculares fortes representam o motivo da Poliamida ter propriedades mecânicas superiores que o Polietileno.

Quanto mais polar for a molécula, mais forte são as forças intermoleculares; e as propriedades mecânicas serão superiores quanto mais forte forem as forças intermoleculares, de acordo com a grandeza da força intermolecular de uma ligação covalente, em torno de 200 – 800 kJmol⁻¹, comparada com a ligação iônica, em torno de 40 – 500 kJmol⁻¹. Logo, o Ionômero é um polímero que consiste principalmente de ligações covalentes e uma pequena parte, mas significativa, de ligação iônica (íons de Zn⁺); por isso, as propriedades mecânicas da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna serão inferiores que a tripa plástica com PA na camada interna, como visto nos resultados das análises de resistência à tração e alongamento. Já a tripa plástica com PE na camada interna possui propriedades mecânicas inferiores que a tripa com PA e PA + Surlyn® na camada interna porque é um polímero apolar.

Com isso, as tripas plásticas apresentaram-se diferentes diante dos resultados das análises de resistência mecânica, evidenciando suas características antes e após a hidratação.

4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO PRODUTO

As análises de lipídios, proteínas, umidade, pH e Aw foram realizadas para verificar o comportamento das Formulações 1 e 2 nos resultados de força de aderência da tripa à proteína da carne e de gramatura de produto aderido à tripa.

Os resultados das análises referentes às duas formulações de emulsão cárnea estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados das Análises Físico-Químicas dos produtos com emulsão cárnea da Formulação 1 e 2.

| Análises Físico-Químicas | Emulsão Cárnea | |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | Formulação 1 | Formulação 2 |
| Lipídios | 0,910 g/100g | 19,042 g/100g |
| Proteínas | 18,210 g/100g | 12,600 g/100g |
| Umidade | 75,700 g/100g | 56,050 g/100g |
| pH | 6,35 | 6,50 |
| Aw | 0,960 | 0,960 |

De acordo com os resultados das análises físico-químicas da Formulação 1, os resultados de Lipídios, Proteína e Umidade foram semelhantes à composição química do músculo em termos percentuais, uma vez que só foi utilizado peito de frango para elaboração da emulsão cárnea da Formulação 1 sem adição extra de outra fonte de gordura. Os Lipídios representam 1–3% do peso muscular e a análise apresentou 0,91% da composição total do produto; a Proteína possui de 16 a 22% da estrutura muscular magra e o resultado da análise foi de 18,21%; e a Umidade pode ter uma variação entre 65 e 80% e a análise apresentou 75,70% da composição do produto.

Já os resultados da Formulação 2, mostraram que a Proteína e a Umidade estavam com um percentual menor do que o limite mínimo da estrutura muscular, 12,60% e 56,05%, respectivamente. Enquanto que a quantidade de lipídios aumentou na Formulação 2, foi para 19,04% da composição do produto.

Os resultados de pH e Aw mantiveram-se praticamente os mesmos nas duas formulações.

4.3 ESTUDO DA ADERÊNCIA DA PROTEÍNA DE EMULSÃO CÁRNEA EM TRIPAS PLÁSTICAS

O preparo da emulsão cárnea foi realizado conforme descrito no item 3.2.3 (Preparo da Emulsão Cárnea). Após o preparo da emulsão, seguindo procedimento para elaboração das Formulações 1 e 2, o produto cárneo foi embutido nas tripas selecionadas (3 tipos de tripa plástica com diferentes camadas internas: PA, PE e PA+ Surlyn), previamente hidratadas, de acordo com procedimento descrito em 3.2.2 (Preparo das Tripas Plásticas). Assim, considerando os resultados das análises estatísticas descritas em 3.2.1 (Delineamento Experimental), foram realizados 18 experimentos.

Após o processo de embutimento (item 3.2.4), as amostras foram encaminhadas para o cozimento e resfriamento (item 3.2.5) e, em seguida, coletadas conforme descrito no item 3.3 (Análises) e encaminhadas para as seguintes análises: de força de aderência da proteína da carne na tripa plástica (item 3.3.3), gramatura da proteína da carne aderida à tripa (item 3.3.4) e também para as análises físico-químicas de Aw, pH, Proteínas, Umidade e Lipídios dos produtos embutidos (item 3.3.2). Os resultados são apresentados a seguir:

4.3.1 Força de Aderência da Proteína da Carne

As médias dos resultados da força de aderência da proteína da carne mostram que a tripa plástica com camada interna de PE apresentou a menor força de aderência da proteína enquanto a tripa com camada interna de PA + Surlyn[®] apresentou a maior força de aderência, independente da formulação da emulsão cárnea. De acordo com a análise de variância (ANOVA), os resultados de força de aderência para os 3 tipos de tripa apresentaram diferença significativa entre si com 95% de confiança, em relação à Formulação 1 e Formulação 2.

A Tabela 13 apresenta as médias dos resultados das forças de aderência dos três tipos de tripa plástica utilizando as duas formulações.

Tabela 13 - Resultados de força de aderência das tripas plásticas de acordo com a formulação.

| Camada Interna das Tripas Plásticas | Força de Aderência [kgf] | |
|--|--------------------------|---------------|
| | Formulação 1 | Formulação 2 |
| PA | 0,134 ± 0,012 | 0,057 ± 0,004 |
| PE | 0,020 ± 0,001 | 0,016 ± 0,001 |
| PA + Surlyn® | 0,168 ± 0,008 | 0,073 ± 0,002 |

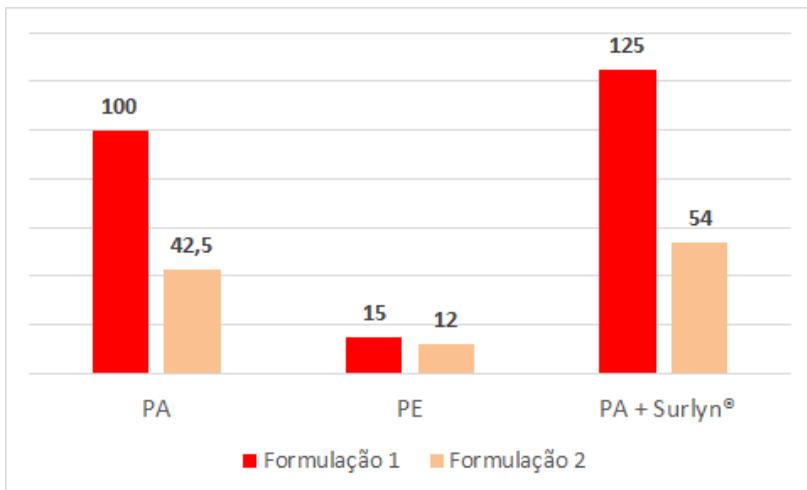
Do ponto de vista químico, considerando que os constituintes básicos das carnes são as proteínas, a emulsão cárnea da Formulação 1 é polar. Logo, o alimento também é considerado um polímero, ou seja, é uma grande sequência de aminoácidos polimerizados por ligações peptídicas. Dessa forma, a tripa plástica com camada interna de PA possui uma polaridade inerente aos seus monômeros (Nylon 6.6), e o resultado foi a adesão proteica. A tripa plástica com camada interna PA + Surlyn® teve a sua polaridade aumentada através da introdução de íons metálicos (ionômero Surlyn®), com isso a sua adesão proteica foi superior. Em contrapartida, como a camada interna da tripa plástica com PE é apolar, não houve alteração e o resultado foi a falta de aderência proteica.

Já a Formulação 2 possui uma quantidade menor de umidade e proteína, ambas consideradas polares, e uma quantidade maior de lipídios, considerado apolar, conforme resultados das análises físico-químicas (item 4.2) em relação à Formulação 1. Essa característica faz com que diminua a força de aderência da proteína da emulsão cárnea à tripa plástica.

Como a estrutura da tripa plástica com camada interna de PA é a mais utilizada no mercado, considerou-se a mesma como referência e foi estipulada uma intensidade da força de aderência de 100% para a média do resultado da Formulação 1. Comparando os demais resultados de força de aderência com os da tripa de PA na camada interna com a Formulação 1, a tripa com PA na camada interna embutida com a emulsão cárnea da Formulação 2 teve uma força de aderência de 42,5%; já a tripa com PA + Surlyn® teve uma força de aderência de 125% com a Formulação 1 e de 54% com a Formulação 2; enquanto que a tripa com PE apresentou uma força de aderência de 15% com a Formulação 1 e de 12% com a Formulação 2.

Com isso, o perfil de intensidade da força de aderência, expressa em percentual (%), entre a camada interna da tripa e a emulsão cárnea da Formulação 1 e Formulação 2 está apresentada na Figura 62.

Figura 62 - Perfil da intensidade da força de aderência entre a camada de contato dos polímeros e a emulsão cárnea da Formulação 1 e Formulação 2.



Portanto, o perfil da intensidade da força de aderência da tripa plástica à proteína da carne manteve o mesmo comportamento em relação à Formulação 1 e Formulação 2. A tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna teve a maior força de aderência, seguida da tripa com PA na camada interna e depois da tripa com PE na camada interna. Logo, a influência da emulsão cárnea sobre as tripas plásticas determinou se a força de aderência da camada interna da plástica à proteína da carne foi maior ou menor, mantendo o mesmo perfil de intensidade.

Se a Figura 62 for comparada com a Figura 40 do item 2.4.4 (Intensidade de adesão entre as camadas de contato dos polímeros mais utilizados para tripas plásticas e produtos cárneos), o comportamento de intensidade de adesão da tripa de PE na camada interna teve praticamente o mesmo comportamento. Porém, a tripa com PA + Surlyn® na camada interna apresentou uma intensidade de aderência

maior que a tripa plástica com PA na camada interna, de acordo com as formulações utilizadas.

4.3.2 Gramatura da Proteína da Carne Aderida à Tripa

As médias dos resultados de gramatura da proteína da carne aderida à tripa mostram que a tripa plástica com camada interna de PE apresentou a menor gramatura enquanto a tripa com camada interna de PA + Surlyn® teve a maior gramatura, independente da formulação da emulsão cárnea. De acordo com a análise de variância (ANOVA), os resultados de gramatura da proteína da carne aderida à tripa dos 3 tipos apresentaram diferença significativa entre si, com 95% de IC, em relação às Formulações 1 e 2.

A Tabela 14 apresenta as médias dos resultados das gramaturas dos três tipos de tripa plástica, utilizando as duas formulações.

Tabela 14 - Resultados de gramatura das tripas plásticas de acordo com a formulação.

| Camada Interna das Tripas Plásticas | Gramatura [g/m ²] | |
|--|-------------------------------|-----------------|
| | Formulação 1 | Formulação 2 |
| PA | 57,174 ± 10,214 | 45,286 ± 13,240 |
| PE | 2,645 ± 0,896 | 1,756 ± 0,367 |
| PA + Surlyn® | 137,005 ± 12,661 | 105,600 ± 5,357 |

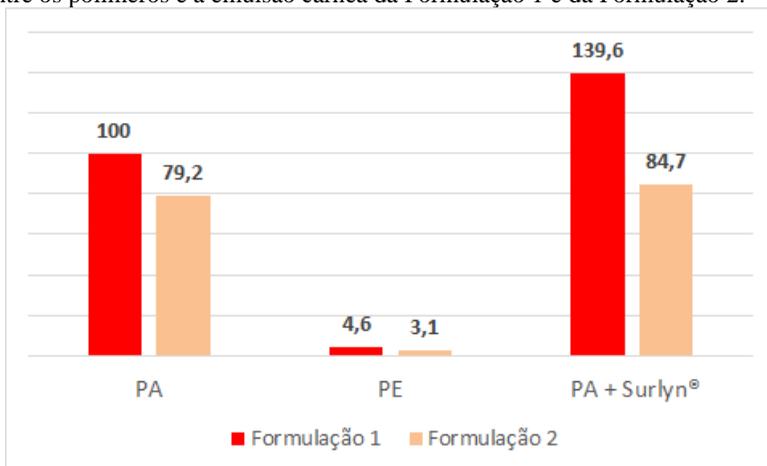
A gramatura é uma consequência da força de aderência da proteína cárnea à tripa plástica, onde o perfil de intensidade de gramatura manteve o mesmo comportamento do que foi apresentado na Figura 65, porém os resultados de gramatura não foram numericamente proporcionais aos resultados de força de aderência.

Como já comentado anteriormente, a estrutura da tripa plástica com camada interna de PA é a mais utilizada no mercado, logo ela foi determinada como referência e estipulada uma intensidade da gramatura de 100% para a média do resultado da Formulação 1. Comparando os demais resultados de gramatura com os da tripa de PA na camada interna com a Formulação 1, a tripa com PA na camada interna embutida com a emulsão cárnea da Formulação 2 teve uma gramatura de 79,2%; já a tripa com PA + Surlyn® teve uma gramatura de 139,6%

com a Formulação 1 e de 84,7% com a Formulação 2; enquanto que a tripa com PE apresentou uma força de aderência de 4,6% com a Formulação 1 e de 3,1% com a Formulação 2.

Assim, o perfil de intensidade da gramatura, expressa em percentual (%), entre a camada interna da tripa e a emulsão cárnea da Formulação 1 e Formulação 2 está apresentada na Figura 63.

Figura 63 - Perfil da intensidade da gramatura aderida à camada de contato entre os polímeros e a emulsão cárnea da Formulação 1 e da Formulação 2.



Portanto, o perfil da gramatura da proteína da carne aderida à tripa plástica manteve o mesmo comportamento em relação à Formulação 1 e à Formulação 2. A tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna apresentou a maior gramatura, seguida da tripa com PA na camada interna e, depois, da tripa com PE na camada interna. Logo, a influência da emulsão cárnea sobre as tripas plásticas determinou se a gramatura de produto aderido à tripa plástica foi maior ou menor, mantendo o mesmo perfil de intensidade.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a realização deste estudo permitiram concluir que o procedimento para determinar a força de aderência da proteína da carne na tripa plástica através da combinação do ensaio de resistência à tração e adesividade pode ser validado para essa finalidade.

As tripas plásticas com PA + Surlyn® na camada interna apresentaram a maior força de aderência e a maior gramatura de proteína da carne aderida à tripa, seguido da tripa com PA e depois a tripa com PE na camada interna. O perfil de intensidade de força de aderência e de gramatura não foram numericamente proporcionais, porém apresentaram o mesmo comportamento para as emulsões cárneas da Formulação 1 e da Formulação 2, mesmo com diferenças das análises físico-químicas (quantidade de lipídios, de umidade e de proteína).

Para demonstrar a significância estatística da composição da camada interna das tripas e das formulações, variáveis mais relevantes deste estudo, os resultados de força de aderência da proteína cárnea na tripa plástica e de gramatura da proteína da carne aderida à tripa foram submetidos à análise de variância (ANOVA), na qual as três diferentes camadas internas testadas apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si.

Esses resultados evidenciaram, mais uma vez, a importância da definição da composição da camada interna da tripa plástica que será utilizada nos produtos cárneos. Do ponto de vista químico, a emulsão cárnea é polar, considerando que os constituintes básicos das carnes são as proteínas, logo, o alimento também é considerado um polímero, ou seja, uma grande sequência de aminoácidos polimerizados (por ligações peptídicas). Desta forma, se a camada interna da tripa for apolar como o PE, não haverá alteração e o resultado será a falta de aderência proteica. Em contrapartida, quando a camada interna da tripa possuir certa polaridade inerente aos seus monômeros, como a PA, o resultado é a adesão proteica. E se a polaridade da camada interna for aumentada através da introdução de íons metálicos (ionômeros), a adesão da carne será superior.

Nos ensaios mecânicos das tripas plásticas, verificou-se a diferença do comportamento das estruturas antes e depois da hidratação. A resistência à tração da tripa plástica com PA na camada interna foi

maior porque a presença de PA melhora a resistência mecânica do material pois, quanto mais polar for a molécula, mais forte serão as forças intermoleculares, as quais são proporcionais às propriedades mecânicas do material. Por isso as propriedades mecânicas da tripa plástica com PA + Surlyn® na camada interna serão inferiores do que a tripa com PA na camada interna, como visto nos resultados das análises de resistência à tração e alongamento. Já a tripa plástica com PE na camada interna possui propriedades mecânicas inferiores que a tripa com PA e PA + Surlyn® na camada interna porque é um polímero apolar.

Logo, a definição da tripa plástica com melhor desempenho estará de acordo com a formulação da emulsão cárnea (proteína, umidade e lipídios) e a aparência do produto final, ou seja, se a proteína da emulsão cárnea deve estar mais ou menos aderida e, conseqüentemente, se a gramatura da proteína da carne aderida à tripa deve ser maior ou menor.

Conforme avaliação dos produtos comercializados no mercado brasileiro e costume dos consumidores, a tripa plástica com PA na camada interna é a melhor opção. Caso seja desenvolvido alguma formulação com teor de lipídios maior do que os produtos atuais com necessidade de aderência, a tripa plástica com PA + Surlyn® será a melhor alternativa. Já a tripa com PE na camada interna será uma boa escolha para produtos embutidos de fácil descasque e baixa, ou nenhuma, intensidade de adesão à proteína da carne.

Portanto, as tripas plásticas são um importante recurso tecnológico no processamento de carnes. Assim sendo, a compreensão da influência que a composição da camada interna das tripas plásticas disponíveis no mercado exerce sobre o produto final e qual a estrutura mais adequada para o produto que será embutido poderá contribuir para que novas soluções sejam geradas no âmbito das indústrias de embutidos.

CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBUT, S. *Poultry Products Processing – An Industry Guide*. CRC Press, 2002.
2. BELCHER, J. N. (2006). Industrial packaging developments for the global meat market. **Meat Science**, 74, 143-148.
3. CLARDY, C. B.; HAN, I. Y.; ACTON, J. C.; WARDLAW, F. B.; BRIDGES, W. B.; DAWSON, P. L. (2008). Protein-to-Film adhesion as examined by amino analysis of protein binding to three different packaging films. **Poultry Science**, 77, 745-751.
4. COMFORT, S.; HOWELL, N. K. (2003). Gelation properties of salt soluble meat protein and soluble wheat protein mixtures. **Food Hydrocolloids**, 17, 149-159.
5. GRUPO VISCOFAN. *Tripas y envolturas para la industria alimentaria*. 2004.
6. HENZE, H.; SCHULTE, B. (2005). Convenience from the wrapper. **FLEISCHWIRTSCHAFT International**, 32-34.
7. JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; PINTADO, T.; COFRADES, S.; RUIZ-CAPILLAS, C.; BASTIDA, S. (2010). Production variations of nutritional composition of commercial meat products. **Food Research International**, 43, 2378-2384.
8. JUDGE, M. D.; ABERLE, E. D.; FORREST, J. C.; HEDRICK, H. B.; MERKEL, R. A. **Principles of Meat Science**, Second Edition, 1998.

9. LEE, D. S.; YAM, K. L.; PIERGIOVANNI, L. (2008). Food Packaging Science and Technology. CRC Press.
10. LEE, K. T. (2010). Quality and safety aspects of meat products as affected by various physical manipulations of packaging materials. **Meat Science**, 86, 138-150.
11. LI, C.-T. (2006). Myofibrillar protein extracts from spent hen meat to improve whole muscle processed meat. **Meat Science**, 72, 581-583.
12. MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. Noções de Probabilidade e Estatística. Editora da Universidade de São Paulo, 2008.
13. MONTGOMERY, D. C. Introduction to statistical quality control. Wiley, 1997.
14. O'NEILL, E.; MORRISSEY, P. A. & MULVIHILL, D. M. (1989). The effects of pH and heating on the surface activity of muscle proteins. **Food Chemistry**, 34, 295-307.
15. PIETTE, J. -P. G.; LIGNEAU, L.; LEBLANC, C.; MARCOTTE, M. & DESCHÊNES, L. (1997). Influence of processing on adherence of a highly extended ham to its cooking bag. **Meat Science**, 48, 101-113.
16. REGO, R. A., Produtos – Oportunidades para inovação. **BFT 2020: Brasil Food Trends 2020**. São Paulo: FIESP, 2010.
17. Relatório do Instituto de Pesquisa ACNielsen – Global Services.
18. SAGVOLDEN, G. 1999. Protein adhesion force dynamics and single adhesion events. **Biophysical Journal**, 77, 526-532.

- 19.SAVIC, Z. (2010). Information and transparency needed. **FLEISCHWIRTSCHAFT International**, 31-35.
- 20.SHIMOKOMAKI, M.; ODA, S. H. I.; SOARES, A L.; LARA, J. A. F.; YAMASHITA, F.; IDA, E.I. Segurança e Qualidade para os embutidos. **Revista da Carne**. Ed. 317, Julho, 2003.
- 21.YOUSSEF, M. K.; BARBUT, S. (2009). Effects of protein level and fat/oil on emulsion stability, texture, microstructure and color of meat batters. **Meat Science**, 82, 228-233.
- 22.ÜNAL, S. B.; ERDOĞDU, F.; EKIZ, H. I.; ÖZDEMİR, Y. (2004). Experimental theory, Fundamentals and mathematical evaluation of phosphate diffusion in meats. **Journal of Food Engineering**, 65, 263-272.
- 23.WELTI-CHANES, J.; VERGARA-BALDERAS, F.; BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. (2005). Transport phenomena in food engineering: basic concepts and advances. **Journal of Food Engineering**, 67, 113-128.
- 24.BOX, G. E. P.; HUNTER, W. B.; HUNTER, J. S. (1978). Statistics for experimenters. An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building. John Wiley and Sons, New York.
- 25.BUTTON, S. T. (2005). Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados. Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas – Campinas/SP.
- 26.FRANCO, B.; LANDGRAF, M. Microbiologia dos Alimentos. Editora Atheneu, 1996.

27. LAWRIE, R. A. Meat Science. Pergamon Press, 1979.
28. TOLDRÁ, F. Handbook of Meat Processing. WILEY-BLACKWELL, 2010.
29. FEINER, G. Meat products handbook. Practical Science and Technology. CRC Press, 2006.
30. http://www.brasilfoods.com/ri/siteri/web/arquivos/brf_fato_relevante.pdf (último acesso em 20/09/2014)
31. <http://www.polyclip.com.br> (último acesso em 20/09/2014)
32. HERNADEZ, R. J.; SELKE, S. E. M.; CULTER, J.D.; **Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations**. Munich, Hanser Gardner, 2000.
33. SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002.
34. CANEVAROLO JR., S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Editora Artliber, 2002.
35. NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 15394:2006 – Tecnologia gráfica – Métodos de ensaios para materiais autoadesivos sensíveis à pressão.
36. Overview of Surlyn® Ionomers in Flexible Packaging Applications – DuPont Packaging, 2009.
37. SAVIC, Z.; SAVIC, I. Sausage Casing. Viena, Áustria: Editora VICTUS, 2002.

38. RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. Avaliação da Qualidade de Carnes – Fundamentos e Metodologias. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.
39. VELAZCO, J.; ORDAZ, C. Mejora de la funcionalidad de la proteína en productos cárnicos. Revista CarneTec, Julho – Setembro, 2012.
40. WANG, L.; SUN, D. (2000). Modelling three conventional cooling processes of cooked meat by finite element method. *International Journal of Refrigeration*, 25, 100-110.
41. SANTOS, E.; MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; PETRUS, J. C. C.; FERREIRA, S. R. S. (2008). Technological properties of natural hog casings treated with surfactant solutions. **Journal of Food Engineering**, 89, 17 – 23.
42. INCROPERA, F. P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 2008.