



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

**MIRIAN DOS SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE EMULSÕES GÉIS CONTENDO PELE  
SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS E APLICAÇÃO EM  
PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS**

CAMPINAS

2019

**MIRIAN DOS SANTOS**

**DESENVOLVIMENTO DE EMULSÕES GÉIS CONTENDO PELE  
SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS E APLICAÇÃO EM  
PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Tecnologia de Alimentos.

**Orientadora:** Dra. Marise Aparecida Rodrigues Pollonio

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA MIRIAN DOS SANTOS, E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. MARISE APARECIDA RODRIGUES POLLONIO.

CAMPINAS

2019

Agência (s) de fomento e nº (s) de processo (s): CNPq, 131994/2017-4

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca de Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Cláudia Aparecida Romano – CRB 8/5816

Santos, Mirian dos, 1990-  
Sa59d      Desenvolvimento de emulsões géis contendo pele suína, óleo de canola e fibras e aplicação em produtos cárneos emulsionados / Mirian dos Santos. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Marise Aparecida Rodrigues Pollonio.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade Engenharia de Alimentos.

1. Colágeno. 2. Salsichas. 3. Carne mecanicamente recuperada. 4. Óleo de canola. 5. Sustentabilidade. I. Pollonio, Marise Aparecida Rodrigues. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

#### Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Development of emulsion gels containing pork skin, canola oil, and fibers and application in emulsified meat products

**Palavras-chave em inglês:**

Collagen

Sausages

Mechanically recovered meat

Canola oil

Sustainability

**Área de concentração:** Tecnologia de Alimentos

**Titulação:** Mestra em Tecnologia de Alimentos

**Banca examinadora:**

Marise Aparecida Rodrigues Pollonio [Orientador]

Ana Paula Badan Ribeiro

Andrea Carla da Silva Barretto

**Data de defesa:** 14-03-2019

**Programa de Pós-Graduação:** Tecnologia de Alimentos

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-6547-8951>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/2255205898386294>

## **BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Dra. Marise Aparecida Rodrigues Pollonio**

Orientadora – DTA/FEA/UNICAMP

**Profa. Dra. Ana Paula Badan Ribeiro**

DTA/FEA/UNICAMP

Membro titular

**Profa. Dra. Andrea Carla da Silva Barretto**

DETA-UNESP

Membro titular

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me abençoar com tantas oportunidades, me proteger e guiar meus passos durante minha trajetória.

À minha mãe Maria do Carmo e a minha filha Nathália pelos sacrifícios e pelo apoio incondicional durante toda a minha jornada.

À minha orientadora Profa. Dra. Marise Aparecida Rodrigues Pollonio, pela oportunidade concedida a mim para a realização do mestrado, pela dedicação, confiança e apreço no decorrer desse trabalho. Agradeço pelos conselhos, incentivos e paciência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida.

À Universidade Estadual de Campinas, em especial ao Departamento de Tecnologia de Alimentos pela estrutura disponibilizada que permitiu a realização deste trabalho.

Aos membros da banca pelas correções, valiosas contribuições e sugestões que tanto acrescentarão e contribuirão para a melhoria do trabalho.

À equipe do Laboratório de Carnes e Derivados, Wanessa, Maristela, Ana Karoline, Camila, Vitor, Ana Paula, Andrea e Giseli que sempre que possível me ajudaram nos processamentos e aguentaram as minhas brincadeiras, vocês são muito especiais.

À Wanessa, a Maristela e a Ana Karoline pela grande ajuda nas análises.

Ao técnico do laboratório de Carnes e Derivados, José Roberto, pelo treinamento nas diversas análises, conselhos e ensinamentos.

Aos estagiários que tanto colaboraram para a realização deste e de outros projetos: Vitória, Letícia, Elton, João, Jaqueline e Raquel.

Às técnicas Aline Lopes e Juliana Hashimoto pelo auxílio nas análises e pelos conhecimentos transmitidos.

À Leila e a Sandra pela amizade, pelas conversas e risadas, pelos bolos deliciosos e pela disposição em sempre ajudar.

À New Max Industrial, em nome da Naiara e do Célio, pela disponibilização da Planta Piloto e pela doação de ingredientes.

À Nutrassim, em nome de Levi Ribeiro, pela doação das fibras da linha Creafibre, pelas informações disponibilizadas e disposição em sempre ajudar.

À Nutramax pela doação da fibra polidextrose.

À Beneo pela doação da inulina.

À Vogler Ingredients pela doação da  $\alpha$ -ciclodextrina.

À Cooperativa Holambra pela doação da carne mecanicamente separada de frango.

À Viskaze pela doação dos envoltórios de celulose.

À Spel pela doação das embalagens a vácuo.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o êxito deste estudo.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

**Muito obrigada!**

## RESUMO

A substituição da gordura animal, rica em ácidos graxos saturados, por emulsões géis (EGs) elaboradas com óleos vegetais ou marinhos e ingredientes funcionais, como fibras alimentares e ingredientes ricos em fibras, é uma estratégia promissora para melhorar as propriedades nutricionais dos produtos cárneos. Vários agentes estruturantes, como proteínas e hidrocolóides, têm sido empregados na elaboração de EGs. No entanto, poucos estudos relataram o uso de subprodutos para esse propósito. A indústria cárnea gera uma grande quantidade de subprodutos ricos em proteínas, como é o caso da pele suína, caracterizada pelo seu alto teor de colágeno, proteína que apresenta elevada capacidade gelificante. Neste cenário, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de EGs à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares na substituição do toucinho em produtos cárneos emulsionados. Para atingir esse objetivo, o trabalho foi dividido em três etapas: na primeira etapa, avaliou-se o tempo de tratamento térmico da pele suína e a concentração de ácido cítrico na solução de cocção no intuito de obter um gel de pele suína (GPS) com rendimento, textura e pH adequados à aplicação em produtos cárneos emulsionados. Na segunda etapa, foram elaboradas EGs à base de GPS, óleo de canola e fibras alimentares (fibra de bambu, inulina, polidextrose e  $\alpha$ -ciclodextrina). Foram avaliadas a estabilidade da emulsão, pH, cor e propriedades reológicas das EGs. A adição das fibras alimentares aumentou a estabilidade da emulsão, esse efeito foi mais pronunciado com a fibra de bambu e a  $\alpha$ -ciclodextrina. A força de ruptura das EGs aumentou com a incorporação da fibra de bambu e da inulina e a deformação de ruptura diminuiu com a adição da  $\alpha$ -ciclodextrina. A cor e o pH, apesar de influenciados pela adição das fibras alimentares, não representaram obstáculos tecnológicos para sua futura incorporação em produtos cárneos. Através de um planejamento fatorial, a fibra de bambu e a inulina foram selecionadas para compor as EGs à base de GPS e óleo de canola. Na terceira etapa, duas formulações de EGs foram empregadas na substituição do toucinho em salsichas com alto teor de carne de frango mecanicamente separada (CMSF). As propriedades tecnológicas e sensoriais das salsichas foram avaliadas. As salsichas contendo a adição das EGs apresentaram estabilidade de emulsão, pH e cor similares ao tratamento controle. Os parâmetros de textura e suculência instrumental das salsichas, em geral, não foram afetados pela incorporação das EGs e os

atributos sensoriais foram próximos aos observados na salsicha tradicional. A partir dos resultados apresentados, pôde-se concluir que a pele suína apresentou alta capacidade emulsificante e gelificante e pode ser empregada na elaboração de EGs destinadas ao uso em produtos cárneos. Somado a isso, a incorporação das fibras alimentares contribuiu de maneira significativa para a melhoria das propriedades funcionais das EGs. A incorporação desses sistemas na substituição do toucinho contribuiu efetivamente para a melhoria nutricional das salsichas com alto teor de CMSF, evidenciada pela diminuição do teor de ácidos graxos saturados e da relação ômega 6/ômega 3 e pelo aumento do teor de ácidos graxos poli-insaturados e de fibras alimentares no produto. O presente trabalho contribuiu para o desenvolvimento de soluções tecnológicas sustentáveis visando à elaboração de produtos cárneos emulsionados mais saudáveis.

Palavras-chave: colágeno; emulsão gel; sustentabilidade; redução de gordura saturada; melhoria do perfil lipídico; salsicha.

## ABSTRACT

Replacing animal fat, rich in saturated fatty acids, by emulsion gels (EGs) prepared with vegetable or marine oils and functional ingredients, such as dietary fiber and fiber-rich ingredients, is a promising strategy to improve nutritional properties of meat products. Several structuring agents, such as proteins and hydrocolloids, have been used to develop an EGs. However, few studies have reported the use of by-products for this purpose. The meat industry generates a large amount of protein-rich by-products, such as porcine skin with high collagen content characterized by high gelling property. In this scenery, this work aimed to examine the suitability of EGs containing porcine skin, canola oil and dietary fibers as pork back fat replacer in emulsified meat products. This work was conducted in three steps: in the first, the heat treatment time of the porcine skin and concentration of citric acid in cooking solution were evaluated to obtain a porcine skin gel (PSG) with yield, texture, and pH desirable for application in emulsified meat products. In the second step, EGs formulated with PSG, canola oil and dietary fibers (bamboo fiber, inulin, polydextrose, and  $\alpha$ -cyclodextrin) were obtained. EGs were chilled (4 °C) and emulsion stability, pH, color and rheological properties were evaluated. Dietary fibers increased the stability of the EGs, mainly bamboo fiber and  $\alpha$ -cyclodextrin. The true rupture stress raised with bamboo fiber and inulin addition and the true rupture strain reduced with  $\alpha$ -cyclodextrin. Color and pH, despite being influenced by dietary fibers, did not represent technological obstacles for its future incorporation in meat products. Through a factorial design, bamboo fiber and inulin were selected to compose the EGs based on canola oil and PSG. The third step involved the use of two EGs that have exhibited good properties to replace pork back fat in sausages with a high content of mechanically deboned chicken meat (MDCM). Technological and sensorial properties of the sausages were evaluated. Meat products added of EGs presented similar emulsion stability, pH and color when compared to the control treatment. Texture parameters and instrumental juiciness in the sausages, in general, were not affected by the incorporation of the EGs and sensorial scores were close to those obtained for the traditional product. From these results, it was possible to conclude that porcine skin presented high emulsifying and gelling properties and can be used in a simple way to form an EG. Besides, incorporating dietary fibers contributed significantly to the improvement of the functional properties of the EGs.

The addition of these gelled systems as pork back fat substitute successfully improved the nutritional profile of the sausages with a high content of MDCM, evidenced by the decrease in the saturated fatty acids content and the omega 6/omega 3 ratio and the increase in the content of polyunsaturated fatty acids and dietary fiber. Based on the results obtained, the present work contributed to the development of sustainable technology to elaborate healthier emulsified meat products.

Keywords: collagen; emulsion gel; sustainability; saturated fat reduction; lipid profile improvement; sausage.

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                                                                                              | 15 |
| 1.1. OBJETIVOS.....                                                                                                                                              | 17 |
| OBJETIVO GERAL.....                                                                                                                                              | 17 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                                                                                                       | 17 |
| 1.2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS .....                                                                                                                                  | 18 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                                                                                                   | 19 |
| REFORMULAÇÃO DO PERFIL LIPÍDICO EM PRODUTOS CÁRNEOS<br>EMULSIONADOS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS E INGREDIENTES<br>SUBSTITUTOS EMPREGADOS.....                         | 19 |
| 2.1. Introdução .....                                                                                                                                            | 19 |
| 2.2. Emulsão cárnea: conceitos e fatores que afetam a sua estabilidade.....                                                                                      | 20 |
| 2.3. Carne mecanicamente separada: uso em produtos cárneos emulsionados...                                                                                       | 22 |
| 2.4. Melhoria do perfil lipídico de produtos cárneos .....                                                                                                       | 23 |
| 2.5. Propriedades funcionais da pele suína .....                                                                                                                 | 27 |
| 2.6. Propriedades nutricionais e funcionais das fibras alimentares.....                                                                                          | 30 |
| 2.7. Considerações finais .....                                                                                                                                  | 36 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....                                                                                                                                      | 37 |
| 3.1. ETAPA 1: ELABORAÇÃO DE GEL DE PELE SUÍNA PARA ESTRUTURAÇÃO<br>DE EMULSÕES GÉIS VISANDO À SUBSTITUIÇÃO DE TOUCINHO EM<br>PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS ..... | 37 |
| 3.1.1. Ingredientes .....                                                                                                                                        | 37 |
| 3.1.2. Delineamento experimental .....                                                                                                                           | 37 |
| 3.1.3. Elaboração dos géis de pele suína .....                                                                                                                   | 38 |
| 3.1.4. Análises .....                                                                                                                                            | 38 |
| 3.1.4.1. Rendimento da pele na cocção .....                                                                                                                      | 38 |
| 3.1.4.2. Teor de umidade e proteína.....                                                                                                                         | 39 |

|                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.4.3. Determinação do pH e da cor instrumental.....                                                                                                                                      | 39 |
| 3.1.4.4. Determinação da dureza.....                                                                                                                                                        | 39 |
| 3.1.4.5. Determinação da força de ruptura .....                                                                                                                                             | 39 |
| 3.1.4.6. Estabilidade da emulsão e pH dos sistemas modelos de emulsão cárnea .....                                                                                                          | 40 |
| 3.1.4.7. Análise estatística .....                                                                                                                                                          | 40 |
| 3.2. ETAPA 2: ELABORAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS .....                                   | 41 |
| 3.2.1. Ingredientes .....                                                                                                                                                                   | 41 |
| 3.2.2. Delineamento experimental .....                                                                                                                                                      | 41 |
| 3.2.2.1. Seleção dos ingredientes para compor as emulsões géis .....                                                                                                                        | 41 |
| 3.2.2.2. Seleção das emulsões géis para aplicação em produtos cárneos emulsionados.....                                                                                                     | 43 |
| 3.2.3. Elaboração das emulsões géis .....                                                                                                                                                   | 44 |
| 3.2.4. Análises das emulsões géis.....                                                                                                                                                      | 44 |
| 3.2.4.1. Estabilidade da emulsão.....                                                                                                                                                       | 44 |
| 3.2.4.2. Determinação do pH e da cor instrumental.....                                                                                                                                      | 45 |
| 3.2.4.3. Resistência à compressão.....                                                                                                                                                      | 45 |
| 3.2.4.4. Análise da microestrutura .....                                                                                                                                                    | 45 |
| 3.2.4.5. Caracterização dos sistemas modelos de emulsão cárnea .....                                                                                                                        | 46 |
| 3.2.4.6. Análise estatística .....                                                                                                                                                          | 46 |
| 3.3. ETAPA 3: SUBSTITUIÇÃO DO TOUCINHO POR EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES EM SALSICHAS COM ALTO TEOR DE CARNE DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA..... | 46 |
| 3.3.1. Processamento das emulsões géis .....                                                                                                                                                | 46 |
| 3.3.2. Formulações e elaboração das salsichas .....                                                                                                                                         | 47 |
| 3.3.3. Análises das salsichas.....                                                                                                                                                          | 49 |

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3.1. Estabilidade da emulsão cárnea e composição proximal .....                                                                                        | 49 |
| 3.3.3.2. Composição de ácidos graxos .....                                                                                                                 | 49 |
| 3.3.3.3. Análise do pH e da atividade de água (Aw) .....                                                                                                   | 50 |
| 3.3.3.4. Análise da oxidação lipídica.....                                                                                                                 | 50 |
| 3.3.3.4. Cor instrumental.....                                                                                                                             | 50 |
| 3.3.3.5. Suculência instrumental .....                                                                                                                     | 51 |
| 3.3.3.6. Perfil de textura instrumental e análise da microestrutura .....                                                                                  | 51 |
| 3.3.3.7. Análise sensorial.....                                                                                                                            | 51 |
| 3.3.3.8. Análise estatística .....                                                                                                                         | 52 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                                                                             | 52 |
| 4.1. ETAPA 1: ELABORAÇÃO DE GEL DE PELE SUÍNA PARA ESTRUTURAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS VISANDO À SUBSTITUIÇÃO DE TOUCINHO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS ..... | 52 |
| 4.2. ETAPA 2: ELABORAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS .....  | 60 |
| 4.2.1. Seleção de ingredientes estabilizantes para compor as emulsões géis ...                                                                             | 60 |
| 4.2.1.1. Estabilidade das emulsões géis.....                                                                                                               | 63 |
| 4.2.1.2. pH e cor instrumental.....                                                                                                                        | 65 |
| 4.2.1.3. Resistência à compressão.....                                                                                                                     | 65 |
| 4.2.1.4. Propriedades funcionais de sistemas modelos de emulsão cárnea contendo as emulsões géis .....                                                     | 66 |
| 4.2.2. Seleção das emulsões géis à base de pele suína e fibras alimentares para aplicação em produtos cárneos emulsionados .....                           | 67 |
| 4.2.2.1. Propriedades funcionais das emulsões géis .....                                                                                                   | 70 |
| 4.2.2.2. Microestruturas das emulsões géis.....                                                                                                            | 71 |
| 4.2.2.3. Propriedades funcionais dos sistemas modelos de emulsão cárnea contendo as emulsões géis .....                                                    | 74 |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3. ETAPA 3: SUBSTITUIÇÃO DO TOUCINHO POR EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES EM SALSICHAS COM ALTO TEOR DE CARNE DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA..... | 78  |
| 4.3.1. Composição proximal e estabilidade da emulsão .....                                                                                                                                  | 78  |
| 4.3.2. Perfil lipídico .....                                                                                                                                                                | 80  |
| 4.3.3. pH, Aw, oxidação lipídica e suculência instrumental.....                                                                                                                             | 82  |
| 4.3.4. Cor objetiva.....                                                                                                                                                                    | 84  |
| 4.3.5. Perfil de textura instrumental .....                                                                                                                                                 | 86  |
| 4.3.6. Microestrutura .....                                                                                                                                                                 | 88  |
| 4.3.7. Avaliação sensorial .....                                                                                                                                                            | 89  |
| 4.4. DISCUSSÃO GERAL.....                                                                                                                                                                   | 92  |
| 5. CONCLUSÃO.....                                                                                                                                                                           | 94  |
| 6. REFERÊNCIAS.....                                                                                                                                                                         | 95  |
| ANEXO I. PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP.....                                                                                                                                                | 110 |

## 1. INTRODUÇÃO

Questões relacionadas à alimentação vêm ganhando importância nos últimos anos, levando um número crescente de consumidores a investir em uma alimentação mais saudável. Dessa forma, a indústria alimentícia se vê cada vez mais pressionada a melhorar os aspectos nutricionais de seus produtos, buscando formulações mais saudáveis. Os produtos cárneos se enquadram nesse cenário devido aos teores elevados de sódio, gordura e aditivos. Esse fato é amparado por um sólido conhecimento científico que mostra a relação do aumento do consumo de sódio, gordura saturada e mais recentemente de carboidratos refinados com o aumento do risco de desenvolvimento de doenças, principalmente as de origem cardiovascular, atualmente a principal causa de mortes no mundo (DAS, 2000; JAKOBSEN, et al., 2009; KRIS-ETHERTON; FLEMING, 2015; LI et al., 2016; WANG et al., 2016, WHO, 2017).

O foco principal dos estudos de reformulação de produtos cárneos é desenvolver estratégias para promover melhoria nutricional sem, no entanto, comprometer as características de qualidade do produto, principalmente os atributos sensoriais e aqueles relacionados à segurança alimentar. Contudo, esse objetivo não é simples de ser atingido, pois os ingredientes alvo de redução ou substituição normalmente exercem múltiplas funções nos sistemas alimentícios. Nos produtos cárneos, tanto o sal como a gordura são cruciais para estabilidade da matriz cárnea e para os atributos sensoriais como sabor, maciez e suculência (JIMÉNEZ-COLMENERO, 2000; FELISBERTO et al., 2015; GORDON; BARBUT; SCHMIDT, 1992). Portanto, reformulações que envolvam a redução da gordura e do sal são um grande desafio, todavia, fundamentais para oferecer produtos com benefícios nutricionais reais para o consumidor.

Algumas das estratégias mais relatadas para a substituição da gordura saturada em produtos cárneos são a incorporação de fibras alimentares e de óleos vegetais e marinhos (BERNARDI et al., 2016; FERNÁNDEZ-GINÉS et al., 2005; JIMÉNEZ-COLMENERO et al., 2015; TALUKDER, 2015; VERMA; BANERJEE, 2010). No que diz respeito às fibras alimentares, sua utilização em produtos cárneos é vantajosa devido às suas propriedades funcionais, como capacidade de retenção de água e promoção de textura (aumento da viscosidade, gelificação, etc.) e

nutricionais, visto que o consumo regular de fibras contribui para a redução da absorção de gordura, regulação dos níveis de glicose no sangue e melhoria do trânsito intestinal (ELLEUCH et al., 2011; FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010; LATTIMER; HAUB, 2010).

Por sua vez, os óleos vegetais e marinhos são fontes de ácidos graxos insaturados que auxiliam na diminuição do risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, principalmente os ácidos graxos da família ômega 3, que também vêm sendo associados à diminuição do risco de desenvolvimento de doenças degenerativas como Alzheimer e Parkinson, de hipertensão e de doenças inflamatórias como aterosclerose e artrite reumatoide (JAKOBSEN et al., 2009; KRIS-ETHERTON; FLEMING, 2015; LI et al., 2015; NETTLETON et al., 2017).

A incorporação de óleos em produtos cárneos normalmente ocorre por meio de pré-emulsões e, mais recentemente, o desenvolvimento de emulsões gelificadas e emulsões géis vem sendo reportado no intuito de conferir características mais similares à gordura animal no que diz respeito aos aspectos de textura e estabilidade do produto (CÂMARA; POLLONIO, 2015; GLISIC et al., 2018; JIMENEZ-COLMENERO et al., 2015; PAGLARINI et al., 2018; PINTADO et al., 2015, 2018a; POYATO et al., 2013; SALCEDO-SANDOVAL et al., 2015; SERDAROĞLU; NACAK; KARABIYIKOĞLU, 2017).

As emulsões géis (EGs) são consideradas sólidos moles e podem ser formadas pela dispersão dos glóbulos em uma matriz gelificada ou pela agregação desses glóbulos em um gel particulado (DICKINSON, 2012). As EGs podem apresentar um comportamento físico similar à gordura nas propriedades funcionais dos produtos cárneos emulsionados e podem ser formadas por proteínas ou pela combinação de proteínas e carboidratos complexos como hidrocolóides e fibras alimentares. A formação do gel pode ser induzida pela gelificação proteica a quente ou por meio da gelificação a frio através da acidificação, reação enzimática ou uso de hidrocolóides como alginato e gelatina (DICKINSON, 2012; PINTADO et al., 2015). A utilização do sistema de gelificação a frio é particularmente vantajosa para conservar as propriedades de óleos e de compostos bioativos que podem ser degradados devido à exposição às altas temperaturas (PIACENTINI et al., 2013).

O colágeno é uma proteína promissora no desenvolvimento de EGs porque apresenta alta capacidade gelificante e também boa capacidade

emulsionante (SANTANA; SATO; DA CUNHA, 2012; GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2011). Somado a isso, os subprodutos da indústria cárnea, tais como a pele e tendões são ricos em colágeno e apresentam um baixo valor comercial. A pele dos animais de abate, especialmente a pele suína, já é bastante utilizada em produtos emulsionados como agente extensor. Estudos recentes demonstraram o potencial do gel de pele suína (GPS) combinado com fibras alimentares na melhoria das propriedades funcionais de produtos cárneos, como aumento da estabilidade da emulsão, melhoria dos parâmetros de textura, e com boas avaliações em relação aos aspectos sensoriais (ALVES et al., 2016; CHOE et al., 2013; FARIA et al., 2015).

Todavia, na literatura não há menção de um estudo mais aprofundado do uso da pele suína como agente estruturante de EGs para aplicação em produtos cárneos. A utilização desse subproduto é uma forma de agregar valor à cadeia produtiva e também de contribuir para o desenvolvimento de substitutos para a gordura animal em produtos populares, onde o custo é o principal fator limitante para novas estratégias de reformulação visando à melhoria nutricional, fatos que justificam esta pesquisa.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste estudo foi desenvolver emulsões géis à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares visando à substituição do toucinho em produtos cárneos emulsionados.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a melhor condição de tratamento da pele suína para obter um gel de pele suína com características funcionais adequadas para aplicação em produtos cárneos emulsionados.

- Avaliar os efeitos da incorporação de fibras alimentares e da concentração do gel de pele suína nas propriedades funcionais das emulsões géis e indicar as melhores formulações para aplicação em produtos cárneos emulsionados.
- Avaliar os efeitos da incorporação das emulsões géis à base de gel de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares na substituição do toucinho em salsichas com alto teor de carne mecanicamente separada de frango.

## **1.2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS**

Para atingir os objetivos propostos, o estudo foi conduzido em três etapas, assim descritas:

**ETAPA 1:** Elaboração de gel de pele suína para estruturação de emulsões géis visando à substituição de toucinho em produtos cárneos emulsionados.

**ETAPA 2:** Elaboração de emulsões géis à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares para aplicação em produtos cárneos emulsionados.

**ETAPA 3:** Substituição do toucinho por emulsões géis à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares em salsichas com alto teor de carne de carne mecanicamente separada

Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para a obtenção de estratégias sustentáveis para a melhoria nutricional de produtos cárneos emulsionados com relação à reformulação lipídica, obtendo-se produtos com redução de gordura saturada adicionados de fibras alimentares.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **REFORMULAÇÃO DO PERFIL LIPÍDICO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS E INGREDIENTES SUBSTITUTOS EMPREGADOS**

#### **2.1. Introdução**

Os produtos cárneos são importantes fontes de proteínas de alto valor biológico, minerais incluindo ferro e zinco e vitamina B<sub>12</sub> (TOLDRA; REIG, 2011), devido à praticidade e ao custo acessível, fazem parte dos hábitos de consumo dos brasileiros. No entanto, os produtos cárneos também são uma das principais fontes de gordura saturada da alimentação (JIMÉNEZ-COLMENERO, 2000).

A redução da gordura saturada é uma importante medida para melhorar a qualidade nutricional dos produtos cárneos, justificada pela associação entre o aumento de casos de doenças cardiovasculares, atualmente a principal causa de mortes no mundo, e de outras doenças associadas como diabetes e obesidade e o excessivo consumo de alimentos calóricos, ricos em gordura saturada e carboidratos refinados (ANVISA, 2014; OMS, 2015; WHO, 2017).

A recomendação da Organização Mundial da Saúde é de que a ingestão de gordura deva ser 15 % a 30 % da energia total da dieta, sendo que não mais que 10 % dessas calorias devam ser provenientes de ácidos graxos saturados e menos de 1 % de ácidos graxos trans (WHO, 2008). A American College of Cardiology/American Heart Association (AHA/ACC), por sua vez, recomenda que o consumo de gordura saturada se limite a 5-6 % do total de calorias da dieta (ECKEL et al., 2014).

Esses fatos estimulam o desenvolvimento de novas estratégias e o uso de ingredientes com propriedades nutricionais distintas na obtenção de produtos cárneos com redução de gordura animal. Contudo, deve-se ter em mente que a gordura exerce um papel relevante na promoção de sabor, suculência, textura e palatabilidade dos produtos cárneos (CORRAL et al., 2014; MENDOZA et al., 2001). Em produtos cárneos emulsionados, ela ainda contribui para a estabilidade da

emulsão e vida de prateleira, tornando sua redução e/ou substituição um desafio sob o ponto de vista tecnológico (BARBUT, 2011; KEENAN et al., 2014).

No Brasil, os produtos cárneos de maior impacto na dieta com relação ao teor consumido são os produtos cárneos emulsionados, e também, os de menor custo. Dessa forma, buscar um substituto para a gordura animal com vantagens nutricionais, porém com viabilidade econômica, facilitará sua utilização na indústria e, conseqüentemente, a disponibilização de produtos cárneos mais saudáveis para os consumidores.

Portanto, na presente revisão bibliográfica, serão abordados os fundamentos da reformulação lipídica e suas estratégias tecnológicas, bem como os desafios para sua implementação em produtos cárneos emulsionados.

## **2.2. Emulsão cárnea: conceitos e fatores que afetam a sua estabilidade**

Uma emulsão pode ser definida como um sistema heterogêneo, consistindo em pelo menos dois líquidos ou fases imiscíveis, em que uma fase é dispersa na outra (SUN et al., 2007). A emulsão cárnea, por sua vez, é constituída por um sistema multifásico que possui similaridade com uma emulsão óleo em água, visto que os glóbulos de gordura são dispersos em uma fase aquosa contínua, formada por uma mistura de água, proteínas, sal, carboidratos e fragmentos de fibras musculares e do tecido conectivo (GIRARD, 1990 apud ALLAIS, 2010). A estabilização dos glóbulos de gordura na fase contínua se dá devido à formação de uma membrana proteica formada pelas proteínas miofibrilares, principalmente a miosina, que reduz a tensão interfacial e mantém o sistema emulsionado estável (ALLAIS, 2010).

A formação da emulsão cárnea envolve as etapas de solubilização das proteínas miofibrilares e de emulsificação da gordura. A solubilização das proteínas miofibrilares ocorre devido ao aumento da força iônica promovida pela adição de sal, comumente NaCl, em combinação com um processo de fragmentação mecânica da carne. A emulsificação envolve a quebra da gordura em pequenos glóbulos e a formação de um filme interfacial proteico, permitindo a sua dispersão e estabilização na fase aquosa contínua (ALLAIS, 2010). Durante o tratamento térmico, a desnaturação proteica, especialmente da miosina, resulta em mudanças

conformacionais que favorecem a sua agregação, com consequente formação de uma rede tridimensional gelificada onde água e gordura se mantêm retidas (ACTON; ZIEGLER; BURGE, 1982). O processo de gelificação é o principal responsável pela textura, propriedades viscoelásticas, suculência e estabilização da gordura em emulsões cárneas (XIONG, 1997).

Uma série de fatores afetam em maior ou menor grau a estabilidade da emulsão cárnea, parâmetro atrelado à capacidade de retenção de água e gordura ao longo do processamento e vida de prateleira do produto, e são relacionados à concentração proteica, principalmente das proteínas miofibrilares, aos fatores que afetam a sua hidratação como a força iônica e o pH e aos parâmetros do processo que influenciam a formação de emulsão e de gel (ÁLVAREZ et al., 2007).

A solubilização das proteínas miofibrilares ocorre somente em soluções salinas, portanto, a concentração e o tipo de sal empregados afetam diretamente a estabilidade da emulsão. O NaCl é o sal mais utilizado em produtos cárneos devido à sua excelente capacidade de hidratar as proteínas miofibrilares e também devido ao seu sabor suave. Normalmente, concentrações entre 2 a 3 % de NaCl são ideais para aumentar a capacidade de hidratação das proteínas miofibrilares, e com isso, obter emulsões estáveis (ACTON; ZIEGLER; BURGE, 1982).

O pH também exerce influência relevante na estabilidade da emulsão cárnea, pois afeta a distribuição de cargas das proteínas miofibrilares, o que interfere diretamente na sua capacidade de hidratação e, conseqüentemente, na sua capacidade de emulsificação e gelificação. A estabilidade da emulsão diminui com a aproximação do ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, (pH próximo de 5,3), valores de pH próximos de 6,0 aumentam a estabilidade da emulsão cárnea (SUN; HOLLEY, 2011).

Outro fator importante para a estabilidade da emulsão cárnea é concentração e a qualidade da fonte lipídica. De maneira geral, a redução da gordura em produtos cárneos causa diminuição da estabilidade da emulsão, devido principalmente, ao maior teor de água adicionado na formulação para compensar sua retirada (HUGHES; COFRADES; TROY, 1997; YOUSSEF; BARBUT, 2010).

A plasticidade da fase lipídica, fator influenciado pelo conteúdo de gordura sólida, também é importante para manter a estabilidade da emulsão. Normalmente, o uso de fontes lipídicas com baixo ponto de fusão, como é o caso dos óleos,

apresenta maior propensão à coalescência e separação de fases durante o processamento e cocção dos produtos cárneos (BARBUT; YOUSSEF, 2016; LEE; CARROLL; ABDOLLAHI, 1981). Ainda, conforme Acton, Ziegler, Burge (1982), a temperatura máxima que pode ser atingida durante o processo de cominuição em produtos cárneos emulsionados é proporcional ao ponto de fusão das gorduras animais, no caso da gordura bovina e suína a temperatura final da massa cárnea no processo de cominuição deve ser de máximo 16-18 °C e para a gordura de frango, que possui menor ponto de fusão, a temperatura máxima no processo de cominuição deve ser de até 10-12 °C.

Por fim, as condições de processo também influenciam a estabilidade da emulsão cárnea. No processo de emulsificação, a eficiência do processador e o tempo de cominuição irão afetar a extração das proteínas miofibrilares, a distribuição da gordura e a formação do filme interfacial proteico ao redor dos glóbulos dispersos (ÁLVAREZ et al., 2007). A cocção, por sua vez, afeta o processo de gelificação, fundamental para a estabilidade e o rendimento dos produtos cárneos emulsionados. Dois parâmetros devem ser observados nesse processo, a faixa de incremento da temperatura e a temperatura atingida no cozimento (SUN; HOLLEY, 2011). A cocção em temperaturas superiores a 80 °C pode causar uma agregação proteica excessiva, levando à intensa perda de exsudado (BARBUT; YOUSSEF, 2016; GORDON; BARBUT; SCHMIDT, 1992). A faixa de temperatura ideal para induzir a gelificação da miosina é entre 60 a 70 °C e o incremento de temperatura ao longo da cocção deve ser gradual para permitir o maior número de interações favoráveis entre as proteínas, fato que contribui para a formação de uma rede tridimensional ordenada e coesa que favorece a retenção de água e gordura (ISHIWATARI; FUKUOKA; SAKAI, 2013; SUN; HOLLEY, 2011).

### **2.3. Carne mecanicamente separada: uso em produtos cárneos emulsionados**

No Brasil, os produtos cárneos emulsionados, como salsicha e mortadela, são elaborados com altos teores de carne mecanicamente separada de aves (CMS). Segundo a legislação brasileira produtos emulsionados como salsicha e mortadela podem conter até 60 % de CMS (BRASIL, 2000). Como abordado anteriormente, a concentração proteica é fundamental para a formação e a estabilidade de produtos

cárneos emulsionados. A CMS possui maior teor de umidade e menor teor de proteínas miofibrilares e, por conta disso, apresenta menor aptidão que a carne nobre para a formação de emulsões estáveis (DAROS; MASSON; AMICO, 2005; PEREIRA et al., 2011).

Somado a isso, o processo de separação mecânica da carne promove uma série de modificações que afetam negativamente a qualidade e as propriedades funcionais da CMS, como por exemplo, a incorporação de cálcio advindo do osso, de ácidos graxos poli-insaturados advindos da medula óssea, de substâncias heme, consideradas pró-oxidantes e de lipases liberadas após o rompimento celular (FIELD, 1988; PÜSSA et al., 2009; TRINDADE et al., 2008).

Dessa forma, estratégias de reformulação que afetem a estabilidade da emulsão cárnea e/ou que propiciem a oxidação lipídica, tais como a incorporação de óleos, são mais desafiadoras em produtos com alto teor de CMS. Todavia, a promoção da melhoria nutricional de produtos cárneos emulsionados elaborados com CMS é bastante relevante considerando o seu amplo consumo no Brasil. Além disso, quando observadas às normas propostas na legislação para o processamento e armazenamento adequados da CMS, o seu uso em produtos cárneos é uma forma de valorizar os subprodutos da indústria cárnea e de reduzir os custos do produto final, tornando-os mais acessíveis à população.

Na busca de substitutos ideais para reduzir e/ou reformular o teor lipídico de produtos cárneos, o emprego de ingredientes com mais de uma função ou que apresentem grande apelo nutricional torna-se relevante para o desenvolvimento de produtos cárneos mais saudáveis. Portanto, os tópicos seguintes retratam de maneira mais detalhada essas abordagens.

## **2.4. Melhoria do perfil lipídico de produtos cárneos**

Uma das estratégias mais relatadas em pesquisas recentes na área de produtos cárneos é a substituição da gordura animal, rica em ácidos graxos saturados, por óleos vegetais ou marinhos, ricos em ácidos graxos insaturados (CÂMARA; POLLONIO, 2015; DELGADO-PANDO et al., 2011; FREIRE et al., 2016; JIMÉNEZ-COLMENERO et al., 2015; PAGLARINI; MARTINI; POLLONIO, 2019; POYATO et al., 2014; SALCEDO-SANDOVAL et al., 2015; YOUSSEF; BARBUT;

SMITH, 2011). Tal estratégia é embasada em estudos que sugerem que a simples redução da gordura saturada não é uma medida eficaz para reduzir o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, mas sim, sua substituição por alimentos ricos em ácidos graxos insaturados e carboidratos integrais (LI et al., 2016; WANG et al., 2016).

Dentre os ácidos graxos insaturados, os ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 de cadeia longa, EPA (ácido eicosapentaenoico) e DHA (docosahexaenoico), são os que apresentam maiores benefícios à saúde, estando seu consumo regular relacionado à diminuição do risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, hipertensão, doenças degenerativas como Alzheimer e Parkinson e de doenças inflamatórias como aterosclerose, inflamação intestinal e artrite reumatoide (CALDER, 2015; CLIFTON; KEOGH, 2017; KRIS-ETHERTON; FLEMING, 2015). Esse efeito é relacionado principalmente à diminuição da produção de eicosanoides derivados do ácido araquidônico (ARA), considerados potentes mediadores de processos inflamatórios, e a produção de eicosanoides derivados do EPA que são mediadores inflamatórios de baixa eficácia (CALDER, 2015). Os óleos de peixes e de algas são as principais fontes de ácidos graxos ômega 3 de cadeia longa e os óleos vegetais de linhaça, chia, perila e canola são fontes de ácido linolênico (Câmara & Pollonio, 2015; Freire et al., 2016; Ixtaina, Nolasco, & Tomás, 2012), ácido graxo essencial e precursor endógeno do EPA e DHA (BARCELÓ-COBLIJN; MURPHY, 2009).

Outro fator importante na melhoria do perfil lipídico é a relação ômega 6/ômega 3 na dieta. O desenvolvimento da agricultura levou à disseminação do consumo de óleos vegetais com altos teores de ácidos graxos ômega 6 em detrimento dos ácidos graxos ômega 3 (SIMOPOULOS, 2004). A relação ômega 6/ômega 3 na dieta ocidental é de aproximadamente 20:1, sendo que a relação recomendada é de até 4:1 (BERNARDI et al., 2016; SIMOPOULOS, 2016). O ácido linoleico é o precursor endógeno do ARA. O aumento da concentração de ARA no organismo propicia a formação de eicosanoides com grande potencial inflamatório, portanto, doenças cardiovasculares e outras doenças inflamatórias são relacionadas à ingestão desequilibrada desses ácidos graxos (CALDER, 2015; SIMOPOULOS, 2004).

Apesar dos benefícios nutricionais pontuados para o consumo de óleos vegetais e marinhos, a incorporação de óleos em produtos cárneos apresenta limitações tecnológicas que incluem perda de textura, liberação demasiada de exsudado, perda sensorial e aumento da oxidação lipídica (DELGADO-PANDO et al., 2010; POYATO et al., 2014).

Barbut e Youssef (2016) reportaram aumento expressivo da liberação de exsudado na cocção em emulsão cárnea elaborada com óleo de canola. Segundo os autores, o estado líquido do óleo (ponto de fusão abaixo de 0 °C) somado à formação de pequenos glóbulos dispersos na emulsão cárnea aumentou a coalescência e propiciou a perda mais expressiva de exsudado na cocção. O aumento da superfície de contato proporcionada pelos pequenos glóbulos de óleo também aumenta a área do filme interfacial proteico necessária para a estabilização da emulsão (YOUSSEF; BARBUT, 2011). A cobertura deficiente dos glóbulos de óleo é um fator que pode explicar, pelo menos em parte, o aumento da coalescência observada em produtos emulsionados com adição de óleos vegetais. Resultados similares, onde a estabilidade da emulsão diminuiu com a incorporação de óleo, foram relatados por Bloukas e Paneras (1994), Park et al. (1989) e Youssef, Barbut e Smith (2011).

A oxidação lipídica é outra limitação importante para o emprego de óleos em produtos cárneos, esse processo pode acarretar no aparecimento de odores e sabores desagradáveis que interferem na qualidade sensorial do produto e, em alguns casos, pode até comprometer a segurança dos alimentos devido à formação de compostos potencialmente tóxicos, assim como reduzir o seu valor nutricional (POYATO et al., 2013; SHAHIDI; ZHONG, 2010). Vários estudos reportaram aumento da oxidação lipídica com a adição de óleos em produtos cárneos (DELGADO-PANDO et al., 2011; FREIRE et al., 2016; SALCEDO-SANDOVAL et al., 2015; SERDAROĞLU; ÖZTÜRK; URGU, 2016), fato que pode causar rejeição sensorial como reportado nos estudos de Freire et al. (2016) e Salcedo-Sandoval et al. (2015).

No intuito de minimizar as limitações apresentadas pela adição de óleos em produtos cárneos, diferentes estratégias vêm sendo adotadas, a maioria delas se baseia na incorporação de óleos na forma de pré-emulsões, onde o óleo já se encontra estabilizado (CÂMARA; POLLONIO, 2015; JIMÉNEZ-COLMENERO, 2007;

XIONG et al., 2016; YOUSSEF; BARBUT, 2011). Estudos mais recentes propõem estratégias de adição de óleos em produtos cárneos por meio de emulsões duplas (FREIRE et al., 2016; SERDAROĞLU; ÖZTÜRK; URGU, 2016), emulsões géis (PAGLARINI et al., 2018; PINTADO et al., 2015, 2018) e organogéis (BARBUT; WOOD; MARANGONI, 2016; PANAGIOTOPOULOU; MOSCHAKIS; KATSANIDIS, 2016).

As emulsões géis (EGs) são particularmente promissoras, pois a sua estrutura sólida confere características similares à gordura em produtos cárneos (PAGLARINI et al., 2018; PINTADO et al., 2018). As EGs são consideradas sólidos moles e podem ser formadas pela dispersão dos glóbulos em uma matriz gelificada ou pela agregação dos glóbulos em um gel particulado (DICKINSON, 2012). Para sua obtenção, proteínas, hidrocolóides e outros agentes estabilizantes, como polissacarídeos e surfactantes podem ser empregados (DICKINSON, 2012, 2013; HERRERO et al., 2017).

Pintado et al. (2015) avaliaram o efeito de agentes de gelificação a frio (gelatina, alginato de sódio e transglutaminase) nas características tecnológicas de EGs à base de óleo de oliva e farinha de chia. De acordo com os autores, os agentes de gelificação empregados conferiram alta estabilidade à emulsão, dado que nenhuma separação foi observada nas análises de estabilidade térmica e ao longo do armazenamento.

Herrero et al. (2017) reportaram a elaboração de EGs à base de óleo de oliva, farinha de chia e alginato de sódio. Segundo os autores, a farinha de chia apresenta alto teor proteico que confere capacidade emulsionante ao sistema. Somado a isso, esse ingrediente ainda é fonte de fibras, minerais, vitaminas e de ácido linolênico. O alginato de sódio, por sua vez, é um hidrocolóide de gelificação a frio que confere a vantagem de evitar a exposição dos óleos às altas temperaturas. De acordo com os autores, a incorporação das EGs em salsichas Frankfurt aumentou a estabilidade da emulsão, refletida pela diminuição da perda de exsudado na cocção, e os parâmetros de textura instrumental.

Serdaroğlu, Nacak e Karabiyiçoğlu (2017) avaliaram a incorporação de emulsão gelificada à base de óleo de oliva, inulina e gelatina em hambúrguer de frango na substituição da gordura bovina. Os autores mostraram que os hambúrgueres apresentaram rendimento na cocção similar ao tratamento controle

na substituição de até 50 % da gordura bovina pela emulsão gelificada. A dureza, por outro lado, diminuiu proporcionalmente com o aumento da substituição da gordura bovina, resultado que pode ser creditado à presença da inulina.

Paglarini et al. (2018) avaliaram o efeito de diversos agentes estruturantes (proteína isolada de soja, caseinato de sódio, carragena, inulina e pectina) na elaboração de EGs à base de óleo de soja. Segundo os autores, a proteína isolada de soja, a carragena e a inulina foram os componentes mais adequados para a elaboração das EGs. Dessa forma, esses sistemas foram empregados na substituição do toucinho em salsichas Frankfurt, conforme relatado pelos autores, a estabilidade da emulsão e a textura das salsichas contendo as EGs foram similares à formulação tradicional contendo toucinho, todavia, a aceitação sensorial foi ligeiramente comprometida com a adição das EGs (PAGLARINI; MARTINI; POLLONIO, 2019).

A partir dos exemplos citados, nota-se uma tendência de elaboração de sistemas lipídicos que ofereçam benefícios nutricionais abrangentes, evidenciados pela combinação da reformulação do perfil lipídico e enriquecimento desses sistemas com ingredientes funcionais e fibras alimentares. Outra questão que deve ser pontuada é a vantagem do emprego de agentes de gelificação a frio, como é o caso da gelatina, para o desenvolvimento de emulsões géis no intuito de manter a qualidade do óleo que será incorporado no produto cárneo.

Tal como a gelatina, o colágeno apresenta-se promissor para o desenvolvimento de EGs. Somado a isso, alguns subprodutos da indústria cárnea são ricos em colágeno, como é o caso da pele suína, empregada como ingrediente extensor de baixo custo em produtos cárneos emulsionados (BENELLI et al., 2015; OSBURN; MANDIGO; ESKRIDGE, 1997). Portanto, o próximo tópico abordará as propriedades da pele suína e do colágeno de forma mais detalhada, oferecendo subsídios que embasam a sua utilização na estruturação de EGs.

## **2.5. Propriedades funcionais da pele suína**

O Brasil é o 4º maior produtor mundial de suínos, com produção de 3,76 milhões de toneladas de carne suína no ano de 2017 segundo a Associação Brasileira de Produção Animal (ABPA, 2018). O crescimento da produção de carne

suína também aumenta a produção de subprodutos do abate, como por exemplo, a pele suína que representa de 3 % a 8 % do peso vivo do suíno (BENELLI et al., 2015). A pele suína possui alto teor de colágeno, aproximadamente 24 % do seu peso úmido (OSBURN; MANDIGO; ESKRIDGE, 1997).

O colágeno é uma proteína do tecido conectivo, majoritariamente fibrosa e amplamente distribuída pela pele, tendões, cartilagens, artérias, músculos e ossos (LIU et al., 2012a). A unidade básica do colágeno é o tropocolágeno que é formado por três cadeias polipeptídicas que se entrelaçam em formato helicoidal formando uma molécula linear com aproximadamente 300 nm de comprimento, essa estrutura é estabilizada principalmente por ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares entre as cadeias polipeptídicas (GÓMEZ-GUILLÉN et al., 2011; PRESTES, 2013).

A partir do colágeno nativo, pode-se obter o colágeno parcialmente hidrolisado (gelatina), colágeno hidrolisado ou fibras de colágeno que são amplamente empregados nas indústrias alimentícias e farmacêuticas. As propriedades funcionais desses derivados dependerão da estrutura do colágeno nativo e do tamanho e distribuição das cadeias proteicas, que irão determinar, por exemplo, a capacidade gelificante, a força do gel e sua capacidade de retenção de água (PRESTES, 2013).

O colágeno apresenta uma composição atípica de aminoácidos, possui aproximadamente 30 % de glicina, 12 % de prolina, 11 % de alanina, 10 % de hidroxiprolina, 1 % de hidroxilisina e quantidades menores de aminoácidos polares e carregados, sendo considerada uma molécula de caráter predominantemente hidrofóbico (STRABURG et al., 2010; LEHNINGER, 1995). A hidrofobicidade é um dos requisitos para que uma proteína tenha boa capacidade de superfície para atuar em interfaces (WALSTRA; VLIET, 2010).

Devido às propriedades funcionais do colágeno, como por exemplo, alta capacidade de hidratação, retenção de água, gelificação e estabilização de emulsões (SCHMIDT et al., 2017), o seu uso em produtos cárneos é reportado por vários estudos (LADWIG; KNIPE; SEBRANEK, 1989; PEREIRA et al., 2011; PETRIDIS; RAIZI; RITZOULIS, 2014; PRESTES et al., 2014; SOUSA et al., 2017).

As propriedades da pele suína para atuar como ingrediente extensor é creditada ao seu alto conteúdo de colágeno, vários trabalhos avaliaram os efeitos da

incorporação desse componente, considerado um subproduto, como ingrediente extensor de baixo custo em produtos cárneos emulsionados. Osburn, Mandigo e Eskridge (1997) investigaram o emprego de GPS em mortadela Bologna com redução de gordura. Os autores reportaram que a incorporação do GPS contribuiu para o aumento da suculência e para a diminuição da dureza das mortadelas, o aumento do teor de água na formulação de mortadela devido à adição do GPS contribuiu para esse resultado. Apesar disso, a capacidade de retenção de água aumentou com a incorporação do GPS devido às propriedades de ligação do colágeno.

Choe et al. (2013) estudaram a substituição do toucinho por GPS e fibra de trigo em salsichas tipo Frankfurt. Os autores relataram que a incorporação de 20 % do GPS e fibra de trigo aumentou a estabilidade da emulsão e os parâmetros de textura instrumental, contudo, sem diferença significativa em relação ao tratamento controle na aceitação sensorial. Da mesma forma, para analisar o efeito em produtos emulsionados, Benelli et al., (2015) avaliaram o uso da emulsão de pele suína e CMS na substituição da proteína isolada de soja em mortadelas de baixo custo. O emprego da emulsão de pele suína aumentou os parâmetros de textura instrumental e promoveu melhoria da aceitação sensorial da mortadela se comparado à formulação tradicional.

Faria et al. (2015) avaliaram a substituição do toucinho por GPS contendo diferentes concentrações de celulose amorfa em mortadela Bologna. Os autores mostraram que o incremento da concentração de celulose amorfa no GPS contribuiu para o aumento da estabilidade da emulsão e da dureza das mortadelas. No entanto, a incorporação de GPS contendo celulose amorfa nas concentrações mais elevadas diminuiu a aceitação sensorial das mortadelas.

Alves et al. (2016) mostraram que mortadelas contendo GPS e farinha de banana verde apresentaram melhoria da estabilidade da emulsão. Todavia, sem aumento significativo ( $p > 0,05$ ) da dureza comparando-se ao tratamento controle. Em relação à avaliação sensorial, os autores relataram que a substituição de até 60 % do toucinho pelo GPS e farinha de banana verde não resultou em perda sensorial das mortadelas.

Conforme mostrado nos exemplos citados, a pele suína é um ingrediente extensor de baixo custo que pode contribuir efetivamente para a melhoria da

qualidade de produtos cárneos emulsionados, o que é evidenciado pelo aumento da retenção de água, rendimento, coesão, melhoria da fatiabilidade e diminuição da sinérese de produtos cárneos incorporados com GPS.

Devido à capacidade gelificante e emulsionante do colágeno, supõe-se que o GPS apresente essas mesmas propriedades e, dessa forma, poderia ser utilizado na elaboração de EGs. Essa estratégia ainda não foi abordada em profundidade nos estudos da área, e considerando a importância das ações sustentáveis para a valorização da cadeia produtiva e a necessidade de estratégias viáveis, principalmente em relação ao custo, para melhoria nutricional de produtos cárneos populares, considera-se que o estudo das propriedades do GPS como um ingrediente multifuncional para o desenvolvimento de EGs destinadas à substituição da gordura animal em produtos cárneos seja um trabalho relevante para os setores acadêmico e produtivo.

Outro ponto que pode ser considerado no desenvolvimento de sistemas emulsionados é a combinação de proteínas e polissacarídeos que além de contribuir para a melhoria da estabilidade desses sistemas também aumenta o seu apelo nutricional. Portanto, o próximo tópico irá abordar com mais detalhes as propriedades das fibras alimentares e o seu uso em emulsões e em produtos cárneos.

## **2.6. Propriedades nutricionais e funcionais das fibras alimentares**

As fibras alimentares incluem uma classe de compostos formados por carboidratos complexos classificados em oligossacarídeos e polissacarídeos, são exemplos de fibras a celulose, as hemiceluloses, as substâncias pécticas, as gomas, as mucilagens, o amido resistente e a inulina que podem estar associados à lignina ou a outros componentes (ELLEUCH et al., 2011).

Elas podem ser classificadas de acordo com sua solubilidade em dois grandes grupos: fibras solúveis que incluem substâncias pécticas, gomas, mucilagem, inulina, psyllium, dextrinas e  $\beta$ -glucanas e a fração insolúvel que inclui a celulose, a lignina e algumas hemiceluloses (LATTIMER; HAUB, 2010; SLAVIN, 2013). As fibras solúveis podem formar soluções viscosas (pectina,  $\beta$ -glucanas e algumas gomas) e não viscosas (ex. inulina, polidextrose) e podem ser fermentadas

total ou parcialmente por bactérias presentes no intestino. Já, as fibras insolúveis não formam soluções viscosas e não são fermentáveis no intestino grosso, mas contribuem efetivamente para o aumento do volume do bolo fecal, estimulando o trânsito intestinal (SLAVIN, 2013).

Segundo a American Association of Cereal Chemists (AACC) (2000), as fibras alimentares são resistentes à digestão e à absorção no intestino delgado de humanos, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso. Devido a isso, alimentos ricos em fibras apresentam menor aporte calórico. Além disso, o seu consumo é associado a uma série de benefícios à saúde, como por exemplo, a redução da absorção de gordura e de colesterol, a diminuição da concentração da lipoproteína de baixa densidade (LDL), a regulação dos níveis de glicose sanguínea, a melhoria do trânsito intestinal e o desenvolvimento de uma microbiota intestinal benéfica, esses efeitos diminuem o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, diabetes tipo II e de alguns tipos de câncer (FUENTES-ZARAGOZA et al., 2010; LATTIMER; HAUB, 2010). Segundo Mehta et al. (2013), a recomendação de consumo diário de fibras é de 28-36 g, sendo que 70 a 80 % desse total devem ser compostos por fibras insolúveis.

Somado aos benefícios nutricionais, as fibras possuem propriedades funcionais que podem contribuir para melhorar as propriedades físico-químicas, como a capacidade de retenção de água e óleo, a viscosidade e a textura de sistemas alimentícios (ELLEUCH et al., 2011).

Em sistemas alimentícios, muitas fibras também têm sido empregadas em combinação com proteínas para aumentar a estabilidade de sistemas dispersos. Os carboidratos complexos promovem o aumento da viscosidade da fase contínua e também podem ser responsáveis por efeitos eletrostáticos e estéricos que dificultam a movimentação das partículas dispersas e impedem a sua agregação (RODRIGUEZ PATINO; PILOSOF, 2011).

Como relatado por Bai, Huan e Li (2017), os polissacarídeos são mais estáveis que as proteínas às variações de pH, força iônica e aumento de temperatura. Dessa forma, as emulsões ou géis formados por proteínas são mais afetados por esses parâmetros. Um exemplo disso é a instabilidade de géis de colágeno ou gelatina ao aumento da temperatura. Essa proteína forma géis

termorreversíveis estabilizados principalmente por ligações de hidrogênio (POPPE, 1992).

Wang et al. (2017) reportaram o uso de nanofibras de celulose para reforçar a estrutura de filmes de cobertura à base de gelatina, os autores relataram aumento da estabilidade térmica e da resistência à tração dos filmes, cujo resultado pode ser atribuído à rigidez conferida pelas nanofibras de celulose à estrutura do gel e às interações eletrostáticas entre as cargas positivas da molécula de gelatina e as cargas negativas da celulose. O estudo realizado por Ge et al., (2018) também demonstrou aumento das propriedades mecânicas e da capacidade de gelificação de géis à base de gelatina com a incorporação de quitina.

Liu et al. (2012b) avaliaram o uso de carboximetilcelulose no intuito de aumentar a estabilidade de emulsões formadas com caseinato de sódio, os autores reportaram que a carboximetilcelulose aumentou a estabilidade da emulsão em pH ácido devido à formação de multicamadas ao redor dos glóbulos dispersos, todavia, esse efeito não ocorreu em pH neutro, onde foi observado a floculação da celulose. As interações eletrostáticas entre os grupos aniônicos da carboximetilcelulose e os grupos positivos da molécula de caseinato de sódio foram as responsáveis para alta estabilidade da emulsão apresentada em pH ácido.

Sato, Moraes e Cunha (2014) avaliaram a estabilização de emulsão com gelatina, alginato e a sua mistura. Segundo os autores, a combinação de alginato e gelatina aumentou a estabilidade oxidativa e a estabilidade das emulsões à diferentes condições de pH devido à contribuição da gelatina na emulsificação do sistema e a resistência do alginato às variações de pH.

A combinação de proteínas e carboidratos na elaboração de emulsões foi relatada também por outros trabalhos (BENICHO; ASERIN; GARTI, 2002; EVANS; RATCLIFFE; WILLIAMS, 2013; FELIX; ROMERO; GUERRERO, 2017; NICOLETTI TELIS, 2018; SCHMITT; TURGEON, 2011; YIN; ZHANG; YAO, 2015).

Em produtos cárneos, a adição de fibras alimentares ou de ingredientes ricos em fibras, além dos benefícios nutricionais, está associada a benefícios tecnológicos, tais como retenção de água, aumento do rendimento, melhoria da textura e redução de custos (BISWAS; KUMAR; BHOSLE, 2011).

Dentre as fibras solúveis, a inulina é uma das mais empregadas em produtos cárneos (ÁLVAREZ; BARBUT, 2013; FELISBERTO et al., 2015;

MENDOZA et al., 2001; PAGLARINI et al., 2018; RODRIGUEZ FURLÁN; PADILLA; CAMPDERRÓS, 2014). A inulina, presente em muitas frutas e vegetais, é constituída por uma mistura de cadeias oligoméricas e poliméricas de frutose ligadas por ligações  $\beta$ -(2-1), com uma glicose terminal ligada à última unidade de frutose através de ligação  $\alpha$ -(1-2). O seu grau de polimerização médio é em torno de 12 unidades, variando de 2 a 60 (MANTZOURIDOU; SPANOU; KIOSSEOGLOU, 2012). Segundo Franck (2002), a inulina pode ser empregada na substituição da gordura em sistemas alimentícios porque na presença de água forma géis particulados de textura cremosa. Essa característica contribui para a obtenção de uma textura macia e suculenta que se aproxima das características conferidas pela gordura no alimento.

Alaei, Hojjatoleslami e Dehkordi (2018) mostraram que uso de gel de inulina aumentou a umidade e diminuiu a dureza e o valor calórico de salsichas de frango, e não houve diferença significativa na aceitação sensorial das salsichas contendo o gel de inulina e a formulação controle sem redução de gordura. Keenan et al. (2014) reportaram que a substituição do toucinho por inulina (6,24 a 18,7 %) diminuiu a perda na cocção e aumentou a estabilidade da emulsão de salsichas tipo breakfast. Felisberto et al. (2015), por outro lado, mostraram que a incorporação de inulina (3 e 6 %) em emulsões cárneas com redução de gordura causou significativo aumento da perda na cocção e diminuição dos parâmetros reológicos. Os diferentes efeitos observados podem estar relacionados com a concentração de inulina empregada no sistema alimentício. Em relação ao seu efeito prebiótico, um estudo recente realizado por Thøgersen et al. (2018) demonstraram que o consumo de salsicha enriquecida com inulina (5,6 % de fibra alimentar) aumentou o conteúdo de ácidos graxos de cadeia curta no plasma e a concentração de *Bifidobacterium* spp. nas fezes de camundongos submetidos à intervenção dietética por um período de um mês.

Outra fibra solúvel promissora em produtos cárneos é a polidextrose, um polímero de glicose altamente ramificado, com ligações aleatórias e grau de polimerização médio de 12, variando de 2 a 120, essa fibra não forma soluções viscosas e é parcialmente fermentada pela microbiota intestinal endógena, portanto é considerada uma fibra prebiótica (DO CARMO et al., 2016). As ligações  $\beta$ -(1-6) são predominantes entre os resíduos de glicose na molécula da polidextrose, devido

a isso, essa fibra é muito estável em altas temperaturas e em uma faixa ampla de pH (STOWELL D., 2009), o que é uma vantagem em relação à inulina que é estável em altas temperaturas, mas instável em condições ácidas (valores baixos de pH) (GLLIBOWSKI; BUKOWSKA, 2011).

O uso de polidextrose em produtos cárneos é pouco relatado: Felisberto et al., (2015) mostraram que a sua adição (3 e 6 %) reduziu a estabilidade da emulsão cárnea, evidenciada por uma perda expressiva de líquido durante a cocção e pela diminuição da força de penetração e de compressão da emulsão cárnea. Huda, Leng e Nopianti (2011), por outro lado, relataram aumento significativo da estabilidade sob congelamento de surimis com a adição de polidextrose, evidenciada pela maior capacidade de retenção de água e solubilidade das proteínas miofibrilares na presença de polidextrose, além disso, a força do gel aumentou com a incorporação dessa fibra.

Outra classe de fibras solúveis de grande interesse em sistemas alimentícios, mas ainda pouco utilizadas em produtos cárneos, é composta pelas ciclodextrinas ( $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ ), empregadas usualmente na formação de complexos de inclusão de compostos lipofílicos e de microrganismos no intuito de melhorar a solubilidade, taxa de liberação e estabilidade físico-química de substâncias lábeis e mascarar odores desagradáveis (ASTRAY et al., 2009; LI et al., 2014; PINHO et al., 2014). A  $\alpha$ -ciclodextrina possui a menor estrutura molecular dentre as ciclodextrinas, é um oligômero cíclico de glicose com 6 unidades que apresenta uma estrutura anfifílica onde o interior da molécula é hidrofóbico e o exterior hidrofílico devido ao posicionamento preferencial dos grupos hidroxila para a parte externa da molécula (PINHO et al., 2014). Essa característica da  $\alpha$ -ciclodextrina, e das demais ciclodextrinas, confere a redução da tensão interfacial em sistemas dispersos (DUCHÊNE et al., 2003) e, portanto, pode aumentar a estabilidade de emulsões. Somado a isso, a  $\alpha$ -ciclodextrina não possui sabor, é inodora, solúvel em água e estável sob a maioria das condições de pH e temperatura empregadas no processamento de alimentos (BUCKLEY et al., 2009).

As fibras insolúveis (compostas por celulose e alguns tipos de hemiceluloses) também apresentam grande potencial tecnológico em produtos cárneos, pois contribuem significativamente para o aumento da retenção de água (Han & Bertram, 2017; Zhuang et al. 2018). Dentre as fontes de fibras insolúveis, a

fibra extraída do bambu apresenta grande potencial devido ao seu cultivo sustentável. O bambu é uma planta herbácea que não necessita de pesticidas, pois não há um histórico de pragas que prejudicam seu desenvolvimento, além disso, o seu crescimento é rápido, depois de plantado pode ser cortado em 3 ou 4 anos (FELISBERTO et al., 2017). O bambu é considerado um alimento funcional devido ao seu alto teor de fibras e fitoesteróis, a fibra extraída do bambu é inerte, sem sabor e sem calorias (CHONGTHAM; BISHT; HAORONGBAM, 2011; HUBER et al., 2016) e pode ser empregada em pães, massas, produtos cárneos, queijos e iogurtes (FELISBERTO et al., 2017).

As propriedades funcionais da fibra de bambu podem ser creditadas em grande parte à celulose, seu componente majoritário. A celulose é um polissacarídeo linear com alto grau de polimerização formado por regiões amorfas e cristalinas que se repetem ao longo da cadeia polimérica, devido às regiões cristalinas é pouco solúvel em água. Todavia, os sais derivados de celulose apresentam maior solubilidade. Em face da grande estrutura molecular, a celulose ocupa um volume considerável e, com isso, promove espessamento e volume em matrizes alimentícias (TAKAHASHI, 2009).

Apesar do emprego discreto da fibra de bambu em produtos cárneos, o seu uso é considerado promissor conforme mostrado por alguns estudos: Magalhães (2017) reportou aumento da estabilidade da emulsão com o uso de 2,5 % e 5,0 % de fibra de bambu em mortadela sem adição de tripolifosfato de sódio, sendo que a formulação com 5 % de fibra de bambu não diferiu do tratamento controle contendo a adição de 0,5 % de tripolifosfato de sódio em relação à estabilidade da emulsão. Zeng et al. (2016) mostraram que o uso de fibra de bambu (2-10 %) em batters de empanamento diminuiu a absorção de gordura em empanados de peixes submetidos à fritura por imersão. Huber et al. (2016) avaliaram a incorporação de uma mistura de fibra de bambu, trigo e ervilha em hambúrgueres de frango, segundo os autores a textura e a aceitação sensorial foi similar ao tratamento controle na maioria dos tratamentos avaliados.

## 2.7. Considerações finais

A melhoria nutricional de produtos cárneos é fundamental para oferecer aos consumidores produtos saudáveis. Nesse contexto, a redução da gordura animal, rica em ácidos graxos saturados, em geral, proveniente do toucinho, é um dos alvos mais estudados. A simples redução da gordura não é uma estratégia adequada dos pontos de vista tecnológico e nutricional, dessa forma, o desenvolvimento de ingredientes com propriedades nutricionais diversificadas para a substituição das gorduras animais tem sido amplamente estudado.

As EGs compostas por óleos e fibras alimentares apresentam-se como uma relevante proposta na elaboração de produtos cárneos com redução de gordura e melhoria do perfil lipídico, resultando em benefícios nutricionais consistentes. Associado a esse fato, o emprego da pele suína, uma excelente fonte de colágeno, como parte dos compostos estabilizantes de tais EGs é uma forma de agregar valor à cadeia produtiva e de estimular a utilização de subprodutos na elaboração de produtos cárneos saudáveis e de baixo custo.

Das fibras alimentares selecionadas neste trabalho, apenas a inulina é relatada com frequência nos estudos de reformulação de produtos cárneos, o que justifica a avaliação das demais fibras na elaboração de EGs destinadas à aplicação em sistemas cárneos emulsionados.

Espera-se com o presente estudo contribuir efetivamente para soluções tecnológicas viáveis e sustentáveis no desenvolvimento de produtos cárneos emulsionados mais saudáveis, incluindo aqueles com adição de elevados teores de CMS, com reais benefícios nutricionais para o consumidor e para a cadeia produtiva da carne de um modo geral.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. ETAPA 1: ELABORAÇÃO DE GEL DE PELE SUÍNA PARA ESTRUTURAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS VISANDO À SUBSTITUIÇÃO DE TOUCINHO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS**

##### **3.1.1. Ingredientes**

Na elaboração dos géis de pele suína (GPSs) foi utilizado pele suína doada pelo frigorífico BRF S.A. e ácido cítrico monohidratado (Merck, Brasil). A pele suína foi cortada em pedaços de aproximadamente 2 cm<sup>2</sup> e higienizada em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) por 15 minutos. Após secagem do excesso de líquido, a pele suína foi embalada a vácuo e mantida sob congelamento (-18 °C) até o momento de uso por um período máximo de 3 meses.

##### **3.1.2. Delineamento experimental**

Na obtenção dos GPSs foram avaliadas as condições de tratamento da pele suína em duas etapas. Na primeira etapa foi proposto um delineamento fatorial com duas variáveis em dois níveis: tempo de tratamento térmico (5-15 min) aplicado à pele suína e a concentração de ácido cítrico monohidratado (Merck, Brasil) na solução de cocção (0- 0,075 M), foram empregadas três repetições no ponto central (Tabela 1), totalizando sete ensaios. As variáveis dependentes analisadas foram o rendimento da pele na cocção e as propriedades físico-químicas dos GPSs (pH, cor, dureza, teor de umidade e de proteína) e dos sistemas modelos de emulsão cárnea incorporados com 20 % dos GPSs em substituição a carne magra (estabilidade da emulsão e pH). Na segunda parte, o tempo de tratamento térmico da pele suína foi fixado em 20 minutos e foram avaliadas duas concentrações de ácido cítrico na solução de cocção (0,015 M e 0,03 M), o experimento foi conduzido em três repetições. Foram avaliados o rendimento da pele na cocção, o pH e a força de ruptura dos GPSs e a estabilidade da emulsão e pH das emulsões cárneas contendo a adição de 20 % dos GPSs.

**Tabela 1.** Delineamento fatorial usado na elaboração dos géis de pele suína (GPSs)

| Ensaio | Variáveis independentes |                   |
|--------|-------------------------|-------------------|
|        | Tempo (min)             | Ácido Cítrico (M) |
| F1     | -1 (5)                  | -1 (0)            |
| F2     | +1 (15)                 | -1 (0)            |
| F3     | -1 (5)                  | +1 (0,075)        |
| F4     | +1 (15)                 | +1 (0,075)        |
| F5-F7  | 0 (10)                  | 0 (0,0375)        |

### 3.1.3. Elaboração dos géis de pele suína

Para a obtenção dos GPSs, 300 g de pele suína dispersas em 900 g de solução aquosa (água ou solução de ácido cítrico) foram cozidas em panela de pressão com capacidade de 7 litros em fogão industrial com chama dupla. O tempo de cozimento (5, 10 e 15 min) foi contabilizado após a panela atingir pressão (7-8 min para as condições mencionadas). Logo após a cocção, a solução aquosa foi descartada e um teor de água equivalente ao peso da pele suína cozida foi utilizado para a obtenção do GPS, exceção apenas para os tratamentos em que houve absorção de água pela pele suína durante o cozimento, nesse caso, foi descontado o peso da água já incorporada. O processamento da pele suína foi realizado no processador Thermomix® (Vorwerk, Brasil) com velocidade de 5000 rpm a 60 °C durante 5 minutos (essas condições foram determinadas em ensaios preliminares). Os GPSs dos diferentes tratamentos foram transferidos para bandejas descartáveis de alumínio, resfriados à temperatura ambiente e armazenados sob refrigeração (4 °C). As análises foram conduzidas após 24 h de refrigeração.

### 3.1.4. Análises

#### 3.1.4.1. Rendimento da pele na cocção

O rendimento da pele suína foi determinado a partir da pesagem da pele antes e após o processo de cocção e expresso em porcentagem.

#### **3.1.4.2. Teor de umidade e proteína**

A umidade e o conteúdo proteico dos GPSs foram determinados de acordo com a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2005). As análises foram realizadas em três repetições.

#### **3.1.4.3. Determinação do pH e da cor instrumental**

O pH dos GPSs foi determinado em temperatura ambiente diretamente sobre as amostras com o pHmetro MA 130 Metler acoplado com sonda de penetração. Os parâmetros de cor objetiva (coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) foram determinados em espectrofotômetro Colorquest II (Hunter-Lab, CIELAB, USA), calibrado previamente no modo RSEX (levando em conta o brilho) e no sistema de cor CIELAB. O índice de brancura (W) foi calculado pela seguinte equação:  $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$  (LOHMAN; HARTEL, 1994). As análises de pH e cor foram conduzidas em quatro repetições.

#### **3.1.4.4. Determinação da dureza**

A dureza (N) dos GPSs foi determinada a partir da análise do perfil de textura instrumental em temperatura ambiente utilizando o analisador de textura TAXT2i (Texture Technologies Corp., Scarsdale, USA). Dez amostras dos GPSs (20 mm de diâmetro e 20 mm de altura) foram comprimidas até 30 % da sua altura inicial empregando a probe P-35 (haste longa/base normal) a uma velocidade de pré-teste, teste e pós-teste de 1,00 mm/s e uma força de 0,10 N.

#### **3.1.4.5. Determinação da força de ruptura**

A força de ruptura (kgf) dos GPSs foi determinada em temperatura ambiente a partir de medidas de compressão uniaxial utilizando uma placa metálica de 50 mm de diâmetro, com taxa de compressão de 80 % da altura inicial da amostra e com velocidade constante de 1 mm/s no Texturômetro TAXT plus Texture

Analyser (Texture Technologies Corp., Scarsdale, USA). Para cada tratamento foram utilizadas seis amostras (2 cm de altura x 2 cm de diâmetro).

#### **3.1.4.6. Estabilidade da emulsão e pH dos sistemas modelos de emulsão cárnea**

Os GPSs dos diferentes tratamentos foram adicionados em sistemas modelos de emulsão cárnea (65 % de carne suína, 20 % de toucinho, 2 % de NaCl e 0,25 % de tripolifosfato de sódio), substituindo 20 % do teor de carne magra. A estabilidade da emulsão foi determinada conforme metodologia reportada por Hughes, Cofrades e Troy (1997), com modificações: as emulsões cárneas cruas dos diferentes tratamentos (aproximadamente 25 g) foram inseridas em tubos de 50 mL e submetidas à centrifugação (Excelsa® II 206-BL, Fanem®, Brasil) a 3600 rpm por 1 minuto, na sequência, as amostras foram submetidas ao aquecimento em banho de água até 70 °C, com manutenção nessa temperatura por 10 minutos. Após o tratamento térmico, os tubos foram virados para baixo em béqueres previamente pesados por 20 minutos para o líquido exsudado decantar. A estabilidade da emulsão, expressa em porcentagem, foi calculada pela diferença de peso entre a amostra inicial e o líquido liberado na cocção. Na análise, foram realizadas seis repetições por tratamento. O pH foi determinado segundo metodologia descrita no item 3.1.4.3.

#### **3.1.4.7. Análise estatística**

O delineamento fatorial foi avaliado por meio da Análise de Variância (ANOVA) com nível de confiança de 95 % ( $p < 0,05$ ), considerando os efeitos principais dos fatores de estudo e seus efeitos de interação de primeira ordem. O coeficiente de correlação ( $R^2 > 0,80$ ) também foi considerado na avaliação dos modelos. Os demais resultados foram analisados pela análise de variância (ANOVA) e pelo teste de média de Tukey com 95 % de confiança ( $p \leq 0,05$ ). O software Minitab® 18 foi utilizado para criar o modelo fatorial e para analisar os resultados.

## **3.2. ETAPA 2: ELABORAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS**

### **3.2.1. Ingredientes**

As emulsões géis (EGs) desenvolvidas neste trabalho foram elaboradas com pele suína obtida de frigoríficos com Inspeção Federal, ácido cítrico monohidratado (Merck, Brasil), óleo de canola Liza (Cargill, Brasil) adquirido no comércio local e as seguintes fibras alimentares: fibra de bambu Creafibe QC 90 (Nutrassim, Extrema, MG, Brasil), inulina Orafit GR (Beneo, São Paulo, SP, Brasil), polidextrose III (Nutramax, Catanduva, SP, Brasil) e  $\alpha$ -ciclodextrina (Vogler Ingredients, São Bernardo do Campo, SP, Brasil), doadas pelas respectivas empresas. Para a obtenção dos sistemas modelos de emulsão carne foram utilizados pernil suíno e toucinho adquiridos no comércio local, carne de frango mecanicamente separada (CMSF) doada pela Cooperativa Holambra (Holambra, SP, Brasil), cloreto de sódio (NaCl) adquirido no comércio local e tripolifosfato de sódio doado pela Kerry (Campinas, SP, Brasil).

### **3.2.2. Delineamento experimental**

#### **3.2.2.1. Seleção dos ingredientes para compor as emulsões géis**

O delineamento fatorial Plackett-Burman (PB) foi utilizado para selecionar as variáveis mais importantes para o desenvolvimento das EGs por meio do modelo polinomial de primeira ordem, como se segue:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i$$

Onde Y é a resposta predita,  $\beta_0$  é o intercepto do modelo,  $\beta_i$  é o coeficiente linear e  $x_i$  é o nível da variável independente. Foram selecionadas para estudo diferentes fibras alimentares empregadas nos níveis de 0-3 % cada (inulina, polidextrose,  $\alpha$ -ciclodextrina e fibra de bambu) e o gel de pele suína (GPS)

desenvolvido neste estudo e empregado nos níveis de 15-25 %. Foram avaliadas a estabilidade da emulsão, as propriedades reológicas (tensão e deformação de ruptura), o pH e os parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  das EGs. O efeito da incorporação das EGs em sistemas modelos de emulsão cárnea também foi avaliado (estabilidade da emulsão e pH). O delineamento PB gerou 12 tratamentos, com 5 repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios (Tabela 2). As variáveis independentes foram avaliadas com nível de confiança de 95 % ( $p < 0,05$ ) e aquelas que apresentaram efeitos mais significativos foram selecionadas para compor as EGs.

**Tabela 2.** Delineamento fatorial Plackett-Burman empregado na seleção dos ingredientes para a elaboração das emulsões géis

| Ensaio | Variáveis independentes (%) |         |              |                         |                |
|--------|-----------------------------|---------|--------------|-------------------------|----------------|
|        | GPS                         | Inulina | Polidextrose | $\alpha$ -ciclodextrina | Fibra de bambu |
| 1      | + (25)                      | - (0)   | + (3)        | - (0)                   | - (0)          |
| 2      | + (25)                      | + (3)   | - (0)        | + (3)                   | - (0)          |
| 3      | - (15)                      | + (3)   | + (3)        | - (0)                   | + (3)          |
| 4      | + (25)                      | - (0)   | + (3)        | + (3)                   | - (0)          |
| 5      | + (25)                      | + (3)   | - (0)        | + (3)                   | + (3)          |
| 6      | + (25)                      | + (3)   | + (3)        | - (0)                   | + (3)          |
| 7      | - (15)                      | + (3)   | + (3)        | + (3)                   | - (0)          |
| 8      | - (15)                      | - (0)   | + (3)        | + (3)                   | + (3)          |
| 9      | - (15)                      | - (0)   | - (0)        | + (3)                   | + (3)          |
| 10     | + (25)                      | - (0)   | - (0)        | - (0)                   | + (3)          |
| 11     | - (15)                      | + (3)   | - (0)        | - (0)                   | - (0)          |
| 12     | - (15)                      | - (0)   | - (0)        | - (0)                   | - (0)          |
| 13-17  | (20)                        | (1,5)   | (1,5)        | (1,5)                   | (1,5)          |

GPS: gel de pele suína. Os valores em % das variáveis independentes são mostrados entre parênteses.

### 3.2.2.2. Seleção das emulsões géis para aplicação em produtos cárneos emulsionados

Para selecionar as formulações de EGs mais adequadas para aplicação em produtos cárneos foi proposto um delineamento fatorial completo com três variáveis independentes em dois níveis (-1 e +1). As variáveis GPS (10-20 %), fibra de bambu (0-10 %) e inulina (0-10 %) foram selecionadas a partir dos resultados do delineamento PB. O delineamento fatorial gerou 12 ensaios, incluindo as 4 repetições do ponto central (Tabela 3). A relação estatística entre as respostas e as variáveis independentes foi dada pela equação polinomial de primeira ordem e as suas interações:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

Onde Y é a resposta,  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  são as variáveis independentes,  $\beta_0$  é a constante do modelo,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  são os coeficientes de regressão linear e  $\beta_{12}$ ,  $\beta_{13}$  e  $\beta_{23}$  são as interações entre os coeficientes de regressão. As análises realizadas no delineamento PB também foram empregadas nesta etapa.

**Tabela 3.** Delineamento fatorial empregado na seleção das emulsões géis

| Ensaio | Variáveis independentes (%) |                |         |
|--------|-----------------------------|----------------|---------|
|        | GPS                         | Fibra de bambu | Inulina |
| 1      | -1 (10)                     | -1 (0)         | -1 (0)  |
| 2      | +1 (20)                     | -1 (0)         | -1 (0)  |
| 3      | -1 (10)                     | +1 (10)        | -1 (0)  |
| 4      | +1 (20)                     | +1 (10)        | -1 (0)  |
| 5      | -1 (10)                     | -1 (0)         | +1 (10) |
| 6      | +1 (20)                     | -1 (0)         | +1 (10) |
| 7      | -1 (10)                     | +1 (10)        | +1 (10) |
| 8      | +1 (20)                     | +1 (10)        | +1 (10) |
| 9-12   | 0 (15)                      | 0 (5)          | 0 (5)   |

GPS: gel de pele suína. Os valores em % das variáveis independentes são mostrados entre parênteses.

### **3.2.3. Elaboração das emulsões géis**

Na elaboração das EGs dos tratamentos dos delineamentos PB e fatorial, primeiramente procedeu-se ao preparo do GPS: a pele suína cortada (aproximadamente 2 cm<sup>2</sup>) foi cozida sob pressão (temperatura de aproximadamente 120 °C) por 20 minutos em solução de ácido cítrico monohidratado (Merck, Brasil) 0,015 M. Após cocção, o conteúdo líquido resultante foi descartado. A pele cozida foi homogeneizada em água (1:1 m/m) em processador Thermomix® (Vorwerk, Brasil) (5000 rpm, 50 °C, 5 min), e na sequência, resfriada até 4°C para permitir a formação do GPS, que foi mantido refrigerado (4 °C) até o momento de uso (24 h). As EGs foram elaboradas a partir da homogeneização do GPS e das fibras alimentares (conforme os ensaios apresentados nas Tabelas 2 e 3) no processador Thermomix (2500 rpm, 50 °C, 4 min). Na sequência, o óleo de canola na concentração de 50 % foi incorporado lentamente à mistura sob agitação constante (5000 rpm, 50°C, 4 min). As EGs foram transferidas para bandejas de alumínio e resfriadas até 4 °C para permitir a gelificação. As análises foram realizadas após manutenção das amostras por 24 h sob refrigeração (4 °C).

### **3.2.4. Análises das emulsões géis**

#### **3.2.4.1. Estabilidade da emulsão**

A estabilidade da emulsão foi determinada a partir da inserção das EGs (15 g contidas em tubos falcon de 50 mL) dos diferentes tratamentos em banho de água a 80 °C durante 30 minutos. Imediatamente após o tratamento térmico, as EGs foram centrifugadas (Excelsa® II 206-BL, Fanem®, Brasil) a 2500 rpm por 1,0 minuto. O exsudado liberado foi retirado com o auxílio de uma pipeta de Pasteur e teve o seu peso determinado. A estabilidade da emulsão foi determinada a partir da diferença do peso de exsudado liberado sobre o peso inicial da amostra e expressa em porcentagem. A análise foi realizada em cinco repetições por tratamento.

### 3.2.4.2. Determinação do pH e da cor instrumental

O pH e a cor instrumental foram determinados de acordo com as metodologias descritas no item 3.1.4.3.

### 3.2.4.3. Resistência à compressão

Os parâmetros reológicos foram determinados conforme metodologia reportada por Pereira et al. (2013) a partir de medidas de compressão uniaxial utilizando uma placa metálica de 50 mm de diâmetro, com taxa de compressão de 80 % da altura inicial da amostra e com velocidade constante de 1 mm/s no Texturômetro TAXT plus Texture Analyser (Texture Technologies Corp., Scarsdale, USA). Para cada tratamento foram utilizadas nove amostras das EGs (2 cm de altura x 2 cm de diâmetro) mantidas sob refrigeração a 4°C até o momento da análise. Os dados de força e altura foram convertidos em tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ) e deformação de ruptura ( $\varepsilon_{rup}$ ) conforme as equações 1 e 2 reportadas por Bayarri et al. (2007) e Nussinovitch et al. (1990).

$$\sigma = F \left( \frac{h_o - \Delta h}{A_o h_o} \right) \quad (1)$$

$$\varepsilon = \ln \left( \frac{h_o}{h_o - \Delta h} \right) \quad (2)$$

Onde: F é a força aplicada,  $h_o$  a altura inicial da amostra,  $A_o$  a área inicial da amostra e  $\Delta h$  a variação na altura da amostra durante a compressão.

### 3.2.4.4. Análise da microestrutura

A microestrutura das EGs foi determinada no microscópio eletrônico de varredura TM 3000 Tabletop Microscope (Hitachi Technologies, Japão), utilizando uma aceleração de 15 kV no modo Analy. Uma amostra de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>

e espessura de aproximadamente 0,2 cm foi inserida no equipamento sem nenhum tratamento prévio. As imagens foram obtidas com aumento de 250 x. Foram utilizadas 3 amostras de cada tratamento para a obtenção das imagens.

#### **3.2.4.5. Caracterização dos sistemas modelos de emulsão cárnea**

As EGs dos diferentes tratamentos foram empregadas na substituição do toucinho em sistemas modelos de emulsão cárnea contendo 65 % de pernil suíno ou de CMSF, 20 % de toucinho, 2 % de NaCl, 0,25 % de tripolifosfato de sódio e 12,75 % de água. A estabilidade da emulsão cárnea foi avaliada conforme metodologia descrita no item 3.1.4.6. A determinação do pH e da resistência à compressão foram conduzidas conforme metodologias apresentadas no item 3.1.4.3 e 3.2.4.3, respectivamente.

#### **3.2.4.6. Análise estatística**

O software Minitab® 18 (USA) foi utilizado para criar e analisar os modelos polinomiais de primeira ordem dos delineamentos fatoriais por meio da Análise de Variância (ANOVA) com nível de confiança de 95 % ( $p < 0,05$ ), os modelos com coeficientes de correlação  $R^2 > 0,80$  foram considerados adequados para explicar a relação entre as variáveis independentes e as respostas preditas.

### **3.3. ETAPA 3: SUBSTITUIÇÃO DO TOUCINHO POR EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES EM SALSICHAS COM ALTO TEOR DE CARNE DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA**

#### **3.3.1. Processamento das emulsões géis**

Duas formulações de EGs à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares foram selecionadas da etapa anterior devido às suas propriedades funcionais: alta estabilidade, textura sólida, alto teor de fibras e funcionalidade similar ao toucinho quando aplicadas em sistemas modelos de emulsão cárnea no que se refere ao pH, textura e estabilidade da emulsão. As EGs continham como

base 50 % de óleo de canola e 20 % de GPS, sendo que uma das formulações continha a adição de 10 % de fibra de bambu e 20 % de água (denominada de EG-FB) e a outra formulação continha a adição de 10 % de fibra de bambu, 10 % de inulina e 10 % de água (denominada de EG-FBI). Para a elaboração das EGs foi empregada a metodologia descrita no item 3.2.3. A caracterização físico-química das EGs é apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Caracterização das emulsões géis (EGs) e das matérias-primas utilizadas na elaboração das salsichas

| <b>Ingredientes</b> | <b>Umidade</b> | <b>Lipídios</b> | <b>Proteína</b> | <b>Cinzas</b> | <b>pH</b>   |
|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|
| EG-FB               | 36,28 ± 0,61   | 51,39 ± 3,31    | 4,08 ± 0,08     | 0,05 ± 0,001  | 5,57 ± 0,04 |
| EG-FBI              | 25,98 ± 0,11   | 50,27 ± 1,40    | 4,13 ± 0,06     | 0,06 ± 0,007  | 5,44 ± 0,05 |
| Pernil suíno        | 74,95 ± 0,21   | 3,13 ± 0,15     | 22,87 ± 1,01    | 1,09 ± 0,04   | 5,99 ± 0,65 |
| CMSF                | 79,44 ± 0,07   | 9,49 ± 0,16     | 12,00 ± 0,28    | 0,65 ± 0,09   | 6,28 ± 0,04 |
| Toucinho            | 9,74 ± 0,57    | 80,33 ± 0,86    | 10,02 ± 1,04    | 0,17 ± 0,07   | 6,05 ± 0,05 |

EG-FB: Emulsão gel com fibra de bambu; EG-FBI: Emulsão gel com fibra de bambu e inulina. CMSF: carne de frango mecanicamente separada.

### 3.3.2. Formulações e elaboração das salsichas

Foram elaboradas salsichas com alto teor CMSF, com substituição de 50 % e 100 % do toucinho pelas emulsões géis EG-FB e EG-FBI conforme mostrado na Tabela 5. Na elaboração das salsichas, foram utilizados pernil suíno e toucinho adquiridos no comércio local e CMSF doada pela cooperativa Holambra (Holambra, SP, Brasil). O pernil, após a retirada da gordura aparente, e o toucinho após a separação da pele, foram moídos separadamente em disco de 5 mm e armazenados em embalagem a vácuo sob congelamento (-18 °C). A caracterização físico-química das matérias-primas pode ser visualizada na Tabela 4. O cloreto de sódio (NaCl) e as especiarias foram adquiridos no comércio local. O condimento para salsicha 3951 e o corante urucum C-266 foram doados pela New Max Ingredientes (Americana, SP, Brasil) e o tripolifosfato de sódio, o eritorbato de sódio e o nitrito de sódio foram doados pela Kerry (Campinas, SP, Brasil).

O processamento das salsichas foi realizado na Planta Piloto do Laboratório de Carnes e Derivados da Faculdade de Engenharia de Alimentos na UNICAMP. As salsichas foram elaboradas em bateladas de 6 kg no processador cutter Mado® (modelo MTK 662, Alemanha). Inicialmente, as carnes foram homogeneizadas com parte do gelo, NaCl (15 g/kg), condimento para salsicha (7 g/kg), tripolifosfato de sódio (2,5 g/kg), nitrito de sódio (0,15 g/kg) e eritorbato de sódio (0,5 g/kg), adicionados na sequência relatada. O toucinho e/ou as EGs foram incorporados quando a temperatura da massa cárnea atingiu 4 °C e o restante do gelo foi adicionado quando a temperatura atingiu 10 °C. O processamento foi encerrado quando a massa cárnea atingiu 12-13 °C. As salsichas foram embutidas (embutideira modelo EC-12, Mainca) em envoltório celulósico permeável Nojax® ø 23 mm (Viskase, SP, Brasil). O cozimento foi realizado em estufa a vapor Multifan-plug (Arprotec, Brasil) utilizando a seguinte rampa: 65 °C, 0 % de umidade, 15 min; 75 °C, 100 % de umidade, 30 min e 85 °C, 100 % de umidade, 25 min. Ao final da cocção, as salsichas foram resfriadas imediatamente com banho de água e armazenadas sob refrigeração a 4 °C. No dia subsequente, os envoltórios foram retirados manualmente e as salsichas foram embaladas a vácuo em pacotes com 4 unidades. As amostras foram armazenadas sob refrigeração a 4 °C por 30 dias. As análises foram realizadas no 1º, 15º e 30º dias de armazenamento.

**Tabela 5.** Formulações (g/100g) das salsichas

| Ingredientes | Tratamentos |      |      |      |      |      |
|--------------|-------------|------|------|------|------|------|
|              | FC1         | FC2  | F1   | F2   | F3   | F4   |
| Pernil suíno | 20,0        | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| CMSF         | 45,0        | 45,0 | 45,0 | 45,0 | 45,0 | 45,0 |
| Toucinho     | 20,0        | 10,0 | 10,0 | -    | 10,0 | -    |
| EG-FB        | -           | -    | 10,0 | 20,0 | -    | -    |
| EG-FBI       | -           | -    | -    | -    | 10,0 | 20,0 |
| Água         | 13,0        | 23,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 | 13,0 |

FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel incorporada de fibra de bambu (EG-FB); F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel incorporada de fibra de bambu e inulina (EG-FBI). CMSF: carne de frango mecanicamente separada.

### **3.3.3. Análises das salsichas**

#### **3.3.3.1. Estabilidade da emulsão cárnea e composição proximal**

A estabilidade da emulsão cárnea foi determinada conforme metodologia descrita no item 3.1.4.6. O teor de umidade, proteína e cinzas foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC 2005) e o teor de lipídios foi determinado de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959). As análises foram conduzidas em três repetições. A concentração de fibras foi calculada levando em consideração a concentração empregada nas EGs e a pureza das amostras informada pelos fabricantes da inulina Orafiti GR e da fibra de bambu Creafibe QC 90, 96,5 % e 99,6 %, respectivamente.

#### **3.3.3.2. Composição de ácidos graxos**

A determinação da composição em ácidos graxos das salsichas foi realizada em triplicata de acordo com o método Ce 1-62 da American Oil Chemists' Society (AOCS, 2009) em cromatógrafo gasoso capilar - CGC Agilent 6850 Series GC System (Santa Clara, CA, USA). Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram preparados conforme metodologia descrita por Hartman e Lago (1973). Utilizou-se a coluna capilar DB-23 Agilent (50 % cyanopropyl-methylpolysiloxane, 60 m de comprimento, diâmetro interno de 0,25 mm e 0,25 µm de espessura do filme) e as seguintes condições de análise: fluxo: 1.0 mL/min; velocidade linear: 24 cm/s; rampa de temperatura do forno: 110 °C/5 min, 110–215 °C (5 °C/min), 215 °C/24 min; temperatura do detector: 280 °C; temperatura do injetor: 250 °C; gás de arraste: hélio; razão *split*: 1:50; volume injetado: 1.0 µL. A composição qualitativa foi determinada por comparação dos tempos de retenção dos picos com os dos respectivos padrões de ácidos graxos. A composição quantitativa foi realizada por normalização de área, sendo expressa como porcentagem em massa. Os índices trombogênico e aterogênico foram calculados segundo as equações propostas por Ulbricht and Southgate (1991) e reportadas por Selani et al. 2016.

### **3.3.3.3. Análise do pH e da atividade de água (Aw)**

O pH das salsichas foi determinado em temperatura ambiente diretamente sobre as amostras com o pHmetro MA 130 Metler acoplado com sonda de penetração. A média obtida foi resultado de 9 medições realizadas em diferentes amostras de cada tratamento no 1º, 15º e 30º dias de armazenamento. A determinação da Aw das salsichas foi realizada no medidor de Aw Aqualab (DECAGON Inc., Pullman, USA). As medidas foram realizadas em quatro repetições por tratamento no 1º, 15º e 30º dias de armazenamento.

### **3.3.3.4. Análise da oxidação lipídica**

A oxidação lipídica foi avaliada pelo índice de TBARS seguindo a metodologia de Bruna et al. (2001), com modificações: 3,0 g de amostra foram homogeneizadas com 10 mL de solução de ácido tricloroacético (5 %) e 0,25 mL de solução etanólica de BHT (0,19 M) em Ultra-Turrax digital IKA T-25 (1 min, 15000 rpm). O homogeneizado foi filtrado em papel filtro Whatman Nº 54. Uma alíquota de 3,0 mL do filtrado foi misturada com 3,0 mL de solução de ácido tiobarbitúrico (0,02 M) e mantidos em BOD a 25 °C por 24 h na ausência de luz. A absorbância foi medida em espectrofotômetro (Beckman, Modelo DU-70, Muskegon, USA) no comprimento de onda de 532 nm. Os resultados foram determinados pela equação de regressão da curva padrão de 1,1,3,3-tetraethoxypropane (TEP) (0,17 a 1,015 mg MDA/mL). As determinações foram realizadas em três repetições, e os resultados foram expressos em mg de malonaldeído/kg de amostra.

### **3.3.3.4. Cor instrumental**

A cor instrumental das salsichas foi determinada no espectrofotômetro CM-5 (Konica Minolta, Japão) calibrado previamente no modo RSEX (levando em conta o brilho) e no sistema de cor CIELAB, onde L\* representa a luminosidade, oscilando do branco (100 %) ao preto (0 %), a\* o eixo vermelho-verde e b\* o eixo amarelo-azul. O índice de brancura (W) foi calculado pela seguinte equação:  $100 - [$

$(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2} ]^{1/2}$  (LOHMAN; HARTEL, 1994). A análise foi conduzida em quatro repetições.

### **3.3.3.5. Suculência instrumental**

A suculência instrumental foi determinada de acordo com metodologia adaptada de Lucherk et al. (2017): uma amostra de salsicha (1 cm<sup>2</sup>) foi pesada entre dois papéis filtro e na sequência comprimida no texturômetro TA-XT2i (Texture Technologies Corp., Scarsdale, USA) utilizando um probe cilíndrica de 50 mm de diâmetro com força de compressão de 78,45 N aplicada por 30 s e velocidade de pré-teste e teste de 3,7 mm/s e de pós-teste de 10 mm/s. Após a compressão, realizou-se a pesagem dos papéis filtro contendo o líquido liberado. A suculência foi expressa, em porcentagem, pela diferença entre o peso inicial da amostra e o peso do líquido liberado após a compressão. A análise foi conduzida em 6 repetições por tratamento.

### **3.3.3.6. Perfil de textura instrumental e análise da microestrutura**

O perfil de textura instrumental das salsichas foi determinado em temperatura ambiente conforme metodologia descrita no item 3.1.4.4, os parâmetros avaliados foram: dureza (N), elasticidade (cm), coesividade (adimensional) e mastigabilidade (N). A microestrutura das salsichas foi determinada conforme metodologia descrita no item 3.2.4.4.

### **3.3.3.7. Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada com a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil com o número de protocolo 2.809.675. O teste de aceitação e o teste CATA (Check all that apply) foram realizados com 120 provadores maiores de 18 anos de ambos os sexos. A análise sensorial foi realizada em cabines individuais, onde as amostras de salsichas foram apresentadas de forma monádica em copos plásticos codificados com três dígitos. Para o teste de aceitação foi utilizado a escala hedônica estruturada de 9

pontos ancorada nos extremos “desgostei extremamente” e “gostei extremamente” (STONE; SIDEL, 2004). Os atributos avaliados no teste de aceitação foram cor, aroma, sabor, textura e impressão global. O teste CATA foi conduzido após o teste de aceitação conforme metodologia de Ares et al. (2010) utilizando 19 termos escolhidos com base em estudos anteriores realizados na Planta Piloto de Carnes e Derivados da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp, SP, Brasil. Os provadores foram instruídos a marcar sem restrições todos os termos que caracterizavam as amostras.

### **3.3.3.8. Análise estatística**

Os experimentos foram conduzidos em triplicata. As variáveis tratamento e tempo de armazenamento e as suas interações foram avaliadas por meio de análise de variância (ANOVA,  $p \leq 0,05$ ) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Para a condução da análise estatística foi utilizado o software gratuito Sisvar 5.6. No estudo das questões CATA foi realizada uma análise fatorial múltipla (MFA) utilizando o software XLSTAT com o objetivo de identificar as relações entre os termos sensoriais e a aceitação global dos produtos.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. ETAPA 1: ELABORAÇÃO DE GEL DE PELE SUÍNA PARA ESTRUTURAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DE TOUCINHO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS**

A pele suína é utilizada em produtos cárneos emulsionados, como salsicha e mortadela, para melhorar as propriedades de ligação da água, aumentar o rendimento, a coesão e a fatiabilidade desses produtos. Esses efeitos são creditados ao seu alto teor de colágeno. Vários métodos de tratamento da pele suína para incorporação em produtos cárneos emulsionados foram propostos na literatura. Osburn et al. (1997) avaliou o emprego do GPS em mortadela Bologna com redução de gordura. O GPS foi obtido após cocção da pele suína a 70 °C por 30 minutos

utilizando diferentes teores de água (100 % a 600 % em relação ao peso da pele suína).

Choe et al. (2013) desenvolveram um GPS incorporado com fibra de trigo. Para a formação do gel, a pele suína foi cozida a 80 °C por 40 minutos e, na sequência, foi moída usando disco de 3 mm. A pele moída foi homogeneizada com a fibra de trigo e gelo (2:1:2 m/m) em processador cutter. O gel obtido foi empregado na substituição do toucinho em salsichas tipo Frankfurt.

Benelli et al. (2015) avaliaram o uso da emulsão de pele suína obtida em condição otimizada (80 % pele suína, 12 % de CMSF, 6,4 % de gelo e 1,5 % de NaCl) na substituição da proteína isolada de soja em mortadelas com alto teor de CMSF. Para a obtenção da emulsão, a pele foi escaldada a 60 °C por 15 minutos para a retirada da gordura superficial, a emulsão da pele suína foi obtida a partir da mistura da pele crua com os demais ingredientes em emulgador com disco de 3 mm até a obtenção de uma massa fina.

No presente estudo, foi avaliado o tratamento térmico da pele suína sob pressão (temperatura aproximada de 120 °C) na presença de soluções de ácido cítrico diluídas e o seu efeito nas propriedades físico-químicas do GPS. Os valores médios obtidos nas análises do delineamento fatorial e os coeficientes de regressão das variáveis independentes podem ser visualizados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Como observado, a concentração de ácido cítrico foi a variável mais significativa para o rendimento da pele suína, que variou de 67,7 % a 120 % e foi negativamente influenciado pela cocção em solução ácida ( $p < 0,001$ ) e pelo tempo de tratamento térmico ( $p < 0,05$ ). O rendimento superior a 100 % foi resultado da absorção de água pela pele suína nos tratamentos sem a adição de ácido cítrico. A perda expressiva de rendimento da pele suína em meio ácido pode ser explicada pela hidrólise proteica intensificada pelas condições ácidas durante o processo de cocção, cujo resultado, foi corroborado pelo menor ( $p < 0,01$ ) teor proteico dos GPSs obtidos nessas condições. Como reportado por Poppe (1992), o tratamento térmico do colágeno na presença de soluções ácidas diluídas causa a quebra das ligações de hidrogênio que estabilizam a  $\alpha$ -hélice da molécula de tropocolágeno, dessa forma, há a formação de unidades menores de cadeias polipeptídicas que podem ser de três tipos: uma cadeia polipeptídica isolada (cadeia  $\alpha$ ), duas cadeias

polipeptídicas interligadas (cadeia  $\beta$ ) ou a manutenção das três cadeias polipeptídicas originais do tropocolágeno (cadeia  $\gamma$ ).

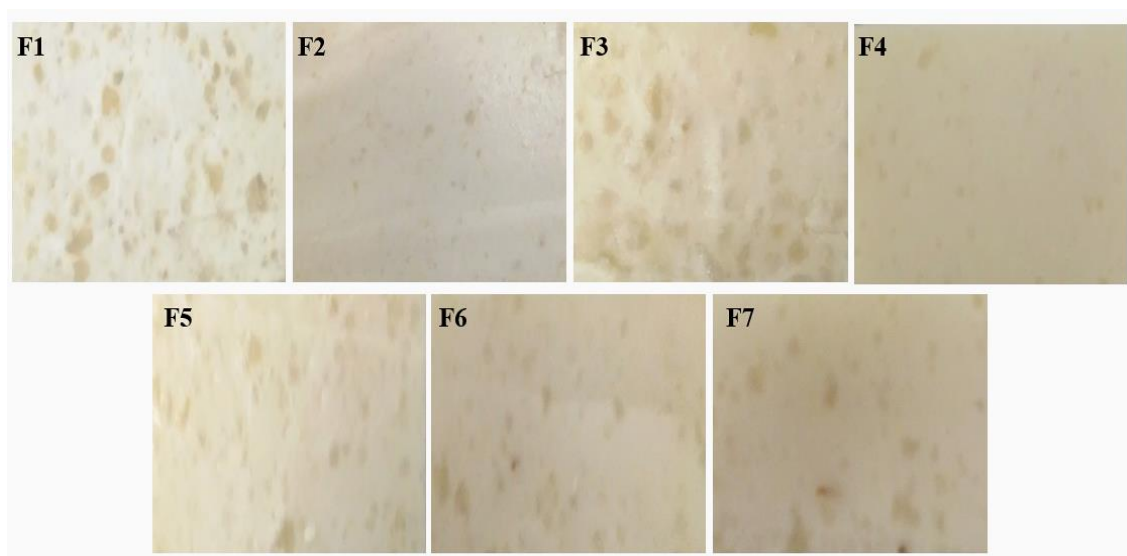
A formação de cadeias polipeptídicas de menor peso molecular durante o tratamento térmico da pele suína em solução ácida diminuiu também a dureza do GPS ( $p < 0,001$ ) e aumentou o seu teor de umidade ( $p < 0,01$ ). Além disso, também foram observadas a diminuição da luminosidade ( $L^*$ ) ( $p < 0,01$ ) e o aumento dos índices de vermelho ( $a^*$ ) ( $p < 0,01$ ) e do amarelo ( $b^*$ ) ( $p < 0,05$ ). Portanto, os GPSs elaborados a partir da cocção da pele suína em meio ácido apresentaram coloração mais escura (Figura 1), o que foi corroborado pelo índice de brancura que diminuiu ( $p < 0,01$ ) com a adição do ácido cítrico, esse parâmetro correlaciona as coordenadas de cor e permite uma avaliação mais assertiva sobre a percepção visual das diferenças de coloração entre os tratamentos.

O tempo de tratamento térmico, como esperado, também exerceu influência significativa na diminuição da dureza ( $p < 0,001$ ) e do conteúdo proteico ( $p < 0,05$ ) dos GPSs. Observou-se também um aumento de  $a^*$  ( $p < 0,05$ ) do GPS com o aumento do tempo de cocção. A interação entre o tempo de tratamento térmico e a concentração de ácido cítrico foi significativa para a diminuição do rendimento da pele suína ( $p < 0,01$ ) e para a redução da dureza e do teor proteico ( $p < 0,05$ ) dos GPSs.

O rendimento da pele suína após a cocção, a dureza e o pH dos GPSs foram os parâmetros mais relevantes para determinar a condição mais adequada para sua obtenção. Os GPSs resultantes dos tratamentos F1 e F2 (uso de solução aquosa na cocção) apresentaram valores de pH próximo da neutralidade, 7,67 e 7,49, respectivamente, o que poderia favorecer o crescimento microbiano. Como relatado por Tortora, Funke e Case (2012), a maioria dos microrganismos cresce melhor em ambientes com faixa de pH próxima à neutralidade, entre pH 6,5 a 8,5.

A utilização da solução de ácido cítrico na concentração de 0,075 M causou perda de rendimento expressivo na cocção e, portanto, esse teor foi considerado muito elevado. Dessa forma, optou-se por utilizar o ácido cítrico em concentrações inferiores a 0,0375 M (valor do cento central), pois nessa concentração, o rendimento da pele suína após cocção foi superior a 80 %, os valores de dureza do GPS observados estiveram dentre os menores e o pH de 4,48 indicou uma acidez moderada, que pode ser caracterizada por valores de pH a partir

de 4,5 (FELISBERTO et al., 2018). O tratamento térmico por 15 minutos permitiu a obtenção de géis de menor dureza. Como observado na Figura 1, os GPS submetidos a 5 minutos de cocção (F1 e F3), mesmo com a utilização da solução ácida, apresentaram partes mais evidentes de pele suína não fragmentada.



**Figura 1.** Aspecto visual dos géis de pele suína obtidos no delineamento fatorial. Tempo de tratamento térmico e concentração de ácido cítrico na solução de cocção, respectivamente: F1: 5 min; F2: 15 min; F3: 5 min e 0,075 M; F4: 15 min e 0,075 M; F5-F7: 10 min e 0,0375 M

**Tabela 6.** Delineamento fatorial usado na elaboração dos géis de pele suína e valores obtidos para as variáveis dependentes

| Ensaio                  | Variáveis dependentes   |                 |                 |                |                |                 |                |                 |                 |                |                |
|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                         | Gel de pele suína (GPS) |                 |                 |                |                |                 |                |                 |                 | Emulsão cárnea |                |
|                         | Rend.<br>(%)            | Umidade<br>(%)  | Proteína<br>(%) | Dureza<br>(N)  | pH             | L*              | a*             | b*              | W               | pH             | EE<br>(%)      |
| F1 (5 min)              | 113,3                   | 75,61           | 16,53           | 4,53           | 7,67           | 85,67           | -0,17          | 12,76           | 80,81           | 5,94           | 93,1           |
| F2 (15 min)             | 120,0                   | 75,88           | 16,43           | 3,42           | 7,49           | 84,02           | 0,65           | 13,89           | 78,82           | 6,25           | 95,2           |
| F3 (5 min 0,075 M)      | 78,7                    | 79,70           | 15,44           | 3,09           | 4,07           | 75,86           | 1,37           | 17,75           | 70,01           | 5,61           | 92,9           |
| F4 (15 min 0,075 M)     | 67,7                    | 80,28           | 13,43           | 2,08           | 4,00           | 76,56           | 1,60           | 18,11           | 70,34           | 5,51           | 91,2           |
| F5-F7 (10 min 0,0375 M) | 85,2<br>± 0,47          | 79,84<br>± 0,16 | 14,19<br>± 0,09 | 2,37<br>± 0,02 | 4,48<br>± 0,02 | 77,09<br>± 0,04 | 1,37<br>± 0,04 | 17,82<br>± 0,04 | 70,95<br>± 0,81 | 5,96<br>± 0,02 | 94,2<br>± 0,56 |

Rend.: rendimento da pele suína; EE: estabilidade da emulsão; W: índice de brancura. Em parênteses o tempo de tratamento térmico da pele suína e a concentração de ácido cítrico na solução de cocção.

**Tabela 7.** Coeficientes de regressão obtidos para as variáveis independentes do delineamento fatorial usado na elaboração dos géis de pele suína

| Variáveis      | Coeficientes de regressão |                |                 |               |           |           |         |           |           |                |           |
|----------------|---------------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|----------------|-----------|
|                | Gel de pele suína (GPS)   |                |                 |               |           |           |         |           |           | Emulsão cárnea |           |
|                | Rend.<br>(%)              | Umidade<br>(%) | Proteína<br>(%) | Dureza<br>(N) | pH        | L*        | a*      | b*        | W         | pH             | EE<br>(%) |
| Constante      | 94,92 ***                 | 77,8 ***       | 15,45 ***       | 3,28 ***      | 5,81 ***  | 80,53 *** | 0,86 ** | 15,63 *** | 74,99 *** | 5,83 ***       | 93,10 *** |
| v1             | -1,08 *                   | 0,21           | -0,53 *         | -0,53 ***     | -0,06     | -0,24     | 0,26 *  | 0,37      | -0,416    | 0,05           | 0,12      |
| v2             | -21,73 ***                | 2,12 **        | -1,02 **        | -0,70 ***     | -1,77 *** | -4,32 **  | 0,62 ** | 2,30 *    | -4,82 **  | -0,27 **       | -1,05     |
| v1 x v2        | -4,42 **                  | 0,08           | -0,48 *         | 0,02 *        | 0,03      | 0,59      | -0,15   | -1,19     | 0,58      | -0,10 *        | -0,96     |
| R <sup>2</sup> | 0,99                      | 0,99           | 0,99            | 0,99          | 0,99      | 0,99      | 0,99    | 0,98      | 0,98      | 0,99           | 0,90      |

Rend.: rendimento da pele suína; EE: estabilidade da emulsão; W: índice de brancura; Variáveis v1: tempo de tratamento térmico e v2: concentração de ácido cítrico. Coeficientes de regressão significativos \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Dessa forma, optou-se por aumentar e fixar o tempo de tratamento térmico em 20 minutos, considerando a diminuição da concentração de ácido cítrico na solução de cocção. Nesta etapa, foram avaliadas as concentrações de 0,015 M e 0,03 M de ácido cítrico.

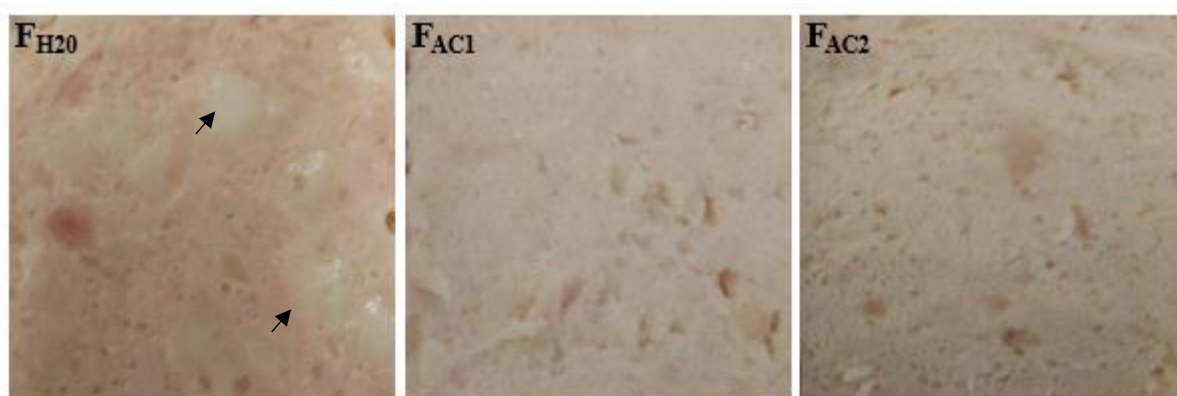
O efeito do tratamento térmico da pele suína na presença ou ausência de solução de ácido cítrico sobre os diferentes atributos avaliados é mostrado na Tabela 8. O rendimento da pele suína na cocção variou de 81,9 % a 120,3 % e, conforme esperado, foi negativamente ( $p < 0,05$ ) influenciado pela presença de ácido cítrico. O menor ( $p < 0,05$ ) valor de rendimento da pele suína foi apresentado pelo tratamento com emprego de 0,03 M de ácido cítrico na solução de cocção e o maior ( $p < 0,05$ ) rendimento foi apresentado na cocção da pele em solução aquosa. O ácido causou a hidrólise proteica da pele suína, que foi proporcional ao incremento da acidez na solução de cocção. O cozimento da pele em meio aquoso causou a desorganização da estrutura fibrosa do colágeno com hidratação das cadeias proteicas e, conseqüente, intumescimento da pele devido à entrada da água, por isso, o seu peso final após cocção foi maior que o inicial. Esses resultados estão em concordância com os obtidos na etapa anterior.

**Tabela 8.** Efeitos de diferentes concentrações de ácido cítrico nas propriedades dos géis de pele suína

| Tratamentos | Gel de pele suína (GPS) |                      |                        | Emulsão cárnea       |                      |
|-------------|-------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
|             | Rendimento (%)          | pH                   | Força de ruptura (kgf) | EE (%)               | pH                   |
| $F_{H2O}$   | 120,3<br>$\pm 3,18^a$   | 7,27<br>$\pm 0,82^a$ | 29,86<br>$\pm 3,39^a$  | 99,3<br>$\pm 0,20^a$ | 6,12<br>$\pm 0,02^a$ |
| $F_{AC1}$   | 94,2<br>$\pm 2,12^b$    | 5,39<br>$\pm 0,03^b$ | 15,00<br>$\pm 1,37^b$  | 97,2<br>$\pm 1,05^b$ | 6,04<br>$\pm 0,04^b$ |
| $F_{AC2}$   | 81,9<br>$\pm 0,18^c$    | 4,83<br>$\pm 0,03^c$ | 11,35<br>$\pm 1,73^c$  | 86,0<br>$\pm 1,18^c$ | 5,78<br>$\pm 0,01^c$ |

EE: estabilidade da emulsão;  $F_{H2O}$ : tratamento térmico da pele suína em solução aquosa;  $F_{AC1}$ : tratamento térmico da pele em solução de ácido cítrico 0,015 M e  $F_{AC2}$ : tratamento térmico da pele suína em solução de ácido cítrico 0,03 M. Letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa ( $p > 0,05$  – Teste de Tukey) entre os tratamentos.

O pH do GPS variou de 4,83 ( $F_{AC2}$ ) a 7,27 ( $F_{H2O}$ ) e foi afetado ( $p < 0,05$ ) pelo uso do ácido cítrico na solução de cocção. A dureza do GPS, expressa indiretamente pela força de ruptura, variou de 29,86 kgf no tratamento  $F_{H2O}$  a 11,35 kgf no tratamento  $F_{AC2}$ . A hidrólise das cadeias de colágeno causada pelo ácido cítrico diminuiu ( $p < 0,05$ ) a força do gel, cujo resultado foi importante para facilitar a sua dispersão na emulsão cárnea. Como mostrado na Figura 2, a emulsão cárnea incorporada com o GPS do tratamento  $F_{H2O}$  apresentou pedaços aparentes do gel devido a sua elevada dureza. Resultado oposto foi apresentado pelos GPS dos tratamentos  $F_{AC1}$  e  $F_{AC2}$ , que se dispersaram adequadamente no sistema cárneo.



**Figura 2.** Aspecto visual das emulsões cárneas incorporadas com os géis de pele suína.  $F_{H2O}$ : cocção da pele suína em solução aquosa;  $F_{AC1}$ : cocção da pele suína em solução de ácido cítrico 0,015 M;  $F_{AC2}$ : cocção da pele suína em solução de ácido cítrico 0,03 M. As setas mostram o GPS na emulsão cárnea após cocção.

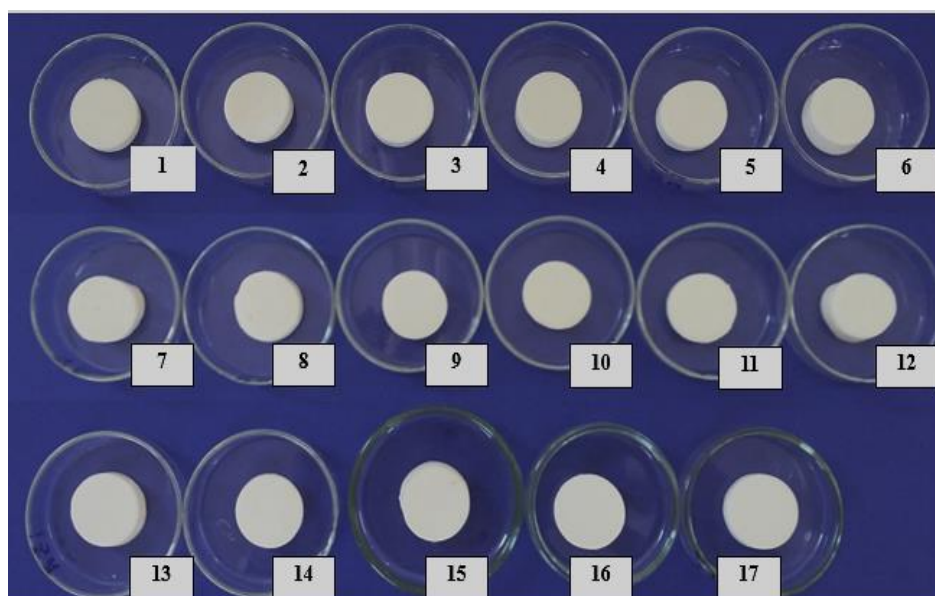
As emulsões cárneas incorporadas com 20 % dos GPSs em substituição a carne magra apresentaram variação de 86,0 % a 99,3 % na estabilidade da emulsão e variação de pH de 5,78 a 6,03. A incorporação do GPS  $F_{AC2}$  diminuiu ( $p < 0,05$ ) a estabilidade da emulsão se comparado aos demais tratamentos, esse resultado pode ter sido causado pela diminuição do pH da emulsão cárnea, além da redução de 20 % de matéria-prima cárnea, resultando portanto, em menor oferta de proteínas miofibrilares, parcialmente substituídas pelas do tecido conectivo. Como relatado por Allais (2010), o pH é um parâmetro importante para a estabilidade de produtos cárneos emulsionados, pois a capacidade de retenção de água das proteínas miofibrilares diminui com a aproximação do seu ponto isoelétrico, pH de

5,3. A partir dos resultados apresentados, considerou-se que o GPS F<sub>AC1</sub> apresentou características de rendimento, pH e dureza adequados para aplicação em produtos cárneos emulsionados.

## 4.2. ETAPA 2: ELABORAÇÃO DE EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS

### 4.2.1. Seleção de ingredientes estabilizantes para compor as emulsões géis

O delineamento PB foi proposto para seleção dos ingredientes (GPS, fibra de bambu, inulina, polidextrose e  $\alpha$ -ciclodextrina) com efeitos mais relevantes na estabilidade, pH, cor e características reológicas das EGs. Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os valores obtidos para as variáveis dependentes e os efeitos das variáveis independentes, respectivamente. O aspecto visual das EGs é mostrado na Figura 3.



**Figura 3.** Aspecto visual das emulsões géis (EGs) obtidas no delineamento Plackett-Burman, as formulações dos tratamentos 1-17 podem ser visualizadas na Tabela 2.

**Tabela 9.** Valores das variáveis dependentes avaliadas por meio do delineamento Plackett-Burman na seleção dos ingredientes para compor as emulsões géis

| Ensaio | Emulsões géis (EGs) |            |            |            |            |                |                  | Emulsões cárneas |            |
|--------|---------------------|------------|------------|------------|------------|----------------|------------------|------------------|------------|
|        | EE                  | pH         | L*         | a*         | b*         | $\sigma_{rup}$ | $\epsilon_{rup}$ | EE               | pH         |
| 1      | 69,02               | 5,65       | 94,72      | -1,02      | 9,11       | 0,396          | 1,12             | 87,38            | 6,06       |
| 2      | 80,57               | 5,69       | 91,73      | -1,03      | 10,78      | 0,302          | 0,98             | 87,41            | 6,04       |
| 3      | 78,88               | 5,50       | 94,94      | -1,02      | 8,71       | 0,267          | 0,96             | 87,87            | 6,08       |
| 4      | 81,83               | 5,67       | 91,4       | -1,05      | 11,04      | 0,333          | 0,90             | 85,74            | 6,12       |
| 5      | 96,04               | 5,59       | 93,14      | -0,87      | 9,47       | 0,686          | 0,83             | 88,55            | 6,13       |
| 6      | 88,74               | 5,52       | 94,1       | -0,87      | 9,03       | 0,655          | 1,05             | 89,79            | 6,16       |
| 7      | 81,80               | 5,68       | 91,99      | -1,17      | 9,62       | 0,256          | 0,89             | 91,76            | 6,12       |
| 8      | 90,20               | 5,56       | 93,78      | -1,06      | 10,06      | 0,235          | 0,89             | 90,93            | 6,12       |
| 9      | 83,06               | 5,61       | 93,42      | -1,10      | 10,01      | 0,164          | 0,83             | 91,67            | 6,23       |
| 10     | 82,90               | 5,59       | 94,52      | -1,07      | 9,97       | 0,322          | 1,22             | 89,89            | 6,22       |
| 11     | 66,07               | 5,70       | 93,86      | -1,19      | 8,89       | 0,105          | 1,16             | 91,15            | 6,25       |
| 12     | 63,44               | 5,75       | 94,58      | -1,22      | 9,72       | 0,112          | 1,08             | 87,02            | 6,13       |
| 13-17  | 90,43               | 5,62       | 95,12      | -0,90      | 8,34       | 0,270          | 1,30             | 86,94            | 5,97       |
|        | $\pm 0,18$          | $\pm 0,01$ | $\pm 0,08$ | $\pm 0,02$ | $\pm 0,02$ | $\pm 0,02$     | $\pm 0,05$       | $\pm 0,74$       | $\pm 0,08$ |
|        |                     |            |            |            |            |                |                  | <b>Toucinho</b>  |            |
|        |                     |            |            |            |            |                |                  | 94,98 $\pm$      | 6,06 $\pm$ |
|        |                     |            |            |            |            |                |                  | 0,45             | 0,05       |

EE: estabilidade da emulsão (%);  $\sigma_{rup}$ : tensão de ruptura ( $N\ mm^{-2}$ );  $\epsilon_{rup}$ : deformação de ruptura. As formulações dos ensaios 1-17 podem ser visualizadas na Tabela 2.

**Tabela 10.** Efeitos das variáveis independentes nas respostas avaliadas no delineamento Plackett-Burman para a seleção de ingredientes para compor as emulsões géis

| Variáveis independentes           | Emulsões géis (EGs) |                      |                      |                      |                      |                      |                      | Emulsões cárneas |                 |
|-----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|-----------------|
|                                   | EE                  | pH                   | L*                   | a*                   | b*                   | $\sigma_{rup}$       | $\epsilon_{rup}$     | EE               | pH              |
| Curvatura                         | <b>20,44</b>        | -0,021               | <b>3,218</b>         | <b>0,321</b>         | <b>-2,714</b>        | -0,099               | <b>0,607</b>         | <b>4,320</b>     | <b>-0,409</b>   |
|                                   | ( <b>&lt;0,01</b> ) | (0,20)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,27)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | ( <b>0,04</b> )  | ( <b>0,03</b> ) |
| GPS ( $x_1$ )                     | <b>5,94</b>         | <b>-0,019</b>        | -0,493               | <b>0,142</b>         | 0,399                | <b>0,259</b>         | 0,050                | 1,939            | -0,110          |
|                                   | ( <b>&lt;0,01</b> ) | ( <b>0,05</b> )      | (0,07)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,08)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,19)               | (0,07)           | (0,24)          |
| Inulina ( $x_2$ )                 | <b>3,61</b>         | <b>-0,028</b>        | -0,443               | <b>0,062</b>         | <b>-0,566</b>        | <b>0,118</b>         | -0,025               | -0,651           | 0,061           |
|                                   | ( <b>&lt;0,01</b> ) | ( <b>&lt;0,01</b> )  | (0,10)               | ( <b>0,02</b> )      | ( <b>0,02</b> )      | ( <b>0,03</b> )      | (0,50)               | (0,52)           | (0,51)          |
| Polidextrose ( $x_3$ )            | <b>3,06</b>         | <b>-0,053</b>        | -0,053               | <b>0,050</b>         | -0,212               | 0,075                | -0,049               | 0,374            | -0,136          |
|                                   | ( <b>0,02</b> )     | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,83)               | ( <b>0,05</b> )      | (0,33)               | (0,13)               | (0,21)               | (0,71)           | (0,16)          |
| $\alpha$ -ciclodextrina ( $x_4$ ) | <b>10,74</b>        | 0,010                | <b>-1,877</b>        | 0,016                | <b>0,924</b>         | 0,020                | <b>-0,215</b>        | -0,492           | -0,103          |
|                                   | ( <b>&lt;0,01</b> ) | (0,27)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,46)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,67)               | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,62)           | (0,28)          |
| Fibra de Bambu ( $x_5$ )          | <b>12,85</b>        | <b>-0,132</b>        | <b>0,937</b>         | <b>0,116</b>         | -0,319               | <b>0,137</b>         | -0,058               | -1,371           | -0,042          |
|                                   | ( <b>&lt;0,01</b> ) | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | ( <b>p&lt;0,01</b> ) | (0,16)               | ( <b>0,01</b> )      | (0,14)               | (0,19)           | (0,65)          |

GPS: gel de pele suína; EE: estabilidade da emulsão (%);  $\sigma_{rup}$ : tensão de ruptura ( $N \cdot mm^{-2}$ );  $\epsilon_{rup}$ : deformação de ruptura (adimensional). Valores em negrito foram estatisticamente significativos, p-valor entre parênteses.

#### 4.2.1.1. Estabilidade das emulsões géis

A pele suína possui alto teor de colágeno, uma proteína com alta capacidade gelificante e boa capacidade emulsionante (HATTREM et al., 2015). O GPS foi utilizado na emulsificação e gelificação das EGs desenvolvidas neste trabalho. Todavia, os géis de colágeno, formados predominantemente por ligações de hidrogênio, são instáveis em altas temperaturas (POPPE, 1992). No intuito de sanar essa limitação, avaliou-se o desempenho de quatro fibras alimentares (inulina, polidextrose,  $\alpha$ -ciclodextrina e fibra de bambu) como agentes estabilizantes das EGs.

A estabilidade da emulsão das EGs variou de 63,44 % a 96,04 % (Tabela 9 e Figura 4) e foi influenciada positivamente ( $p < 0,05$ ) pela fibra de bambu,  $\alpha$ -ciclodextrina, GPS, inulina e polidextrose, nessa ordem (Tabela 10). As emulsões são consideradas sistemas termodinâmicos instáveis que tendem a separar ao longo do tempo devido aos fenômenos de coalescência, floculação, sedimentação ou inversão de fases (HU et al., 2016). Nesse sentido, os polissacarídeos podem contribuir para o aumento da estabilidade de sistemas dispersos, principalmente devido ao aumento da viscosidade ou espessamento da fase contínua (DICKINSON, 2003). Esse efeito pôde ser observado com a adição das fibras às EGs.



**Figura 4.** Aspecto visual das emulsões géis (EGs) obtidas no delineamento Plackett-Burman após análise de estabilidade da emulsão. As formulações dos tratamentos 1-17 podem ser visualizadas na Tabela 2.

A fibra de bambu Creafibe QC90 apresentou o maior efeito no aumento da estabilidade da emulsão. Essa fibra é constituída majoritariamente por celulose (86-88 %), a estrutura linear desse polissacarídeo e seu alto grau de polimerização contribuíram para o aumento efetivo do espessamento da fase contínua e para a retenção de água no sistema. Resultados semelhantes, no qual a celulose ou seus derivados contribuíram para o aumento da estabilidade de sistemas emulsionados foram relatados por Sun et al. (2007) e Winuprasith e Supphantharika (2013).

A  $\alpha$ -ciclodextrina também exerceu um efeito bastante significativo na estabilidade das EGs. A conformação cíclica das ciclodextrinas permite um arranjo estrutural no formato cônico, onde o interior da molécula apresenta caráter hidrofóbico e o exterior caráter hidrofílico (PINHO et al., 2014). Como relatado por Duchêne et al. (2003) e Leclercq e Nardello-Rtaj (2016), o caráter anfifílico das ciclodextrinas pode diminuir a tensão interfacial em sistemas emulsionados, fato que pode ter contribuído para o aumento da estabilidade das EGs neste trabalho. O aumento da concentração de GPS, como esperado, promoveu o aumento da estabilidade da emulsão das EGs devido ao fortalecimento da rede gelificada promovido pelo maior teor de colágeno.

A inulina e a polidextrose contribuíram de maneira menos efetiva para a melhoria da estabilidade das EGs. A polidextrose e a inulina apresentam grau de polimerização médio de 12 (DO CARMO et al., 2016; MANTZOURIDOU; SPANOU, KIOSSEOGLOU, 2012), provavelmente as suas estruturas moleculares pequenas e a baixa concentração empregada (3 %) não permitiram um aumento expressivo do espessamento da fase contínua e/ou uma retenção eficiente da água, portanto, elas não foram tão eficazes na estabilização das EGs após tratamento térmico. Glibowski (2010) reportou que a viscosidade de soluções/dispersões de inulina aumenta em uma faixa de temperatura de 20 a 40 °C devido ao intumescimento das partículas dispersas, todavia, em altas temperaturas a viscosidade decai devido à dissolução parcial da inulina. Esse resultado, pelo menos em parte, fornece um indício que pode explicar a menor estabilidade da emulsão das EGs após tratamento térmico com o emprego da inulina e também da polidextrose, dado à similaridade dos efeitos observados.

#### 4.2.1.2. pH e cor instrumental

O pH das EGs variou de 5,50 a 5,75 (Tabela 9) e foi influenciado negativamente ( $p < 0,05$ ) pela incorporação das fibras de bambu, polidextrose e inulina e pelo aumento ( $p < 0,05$ ) do GPS (Tabela 10). Todavia, os valores dos efeitos observados foram baixos (-0,019 com adição da polidextrose a -0,132 com adição de fibra de bambu), dessa forma, a implicação prática da variação de pH apresentada pelas EGs não foi considerada relevante para causar modificação significativa do pH dos sistemas cárneos emulsionados.

A cor é um parâmetro importante para a aceitação sensorial. Os produtos cárneos curados apresentam coloração rósea a vermelha e alguns ingredientes podem afetar negativamente sua coloração característica. Os valores para as coordenadas de cor e os efeitos das variáveis independentes podem ser visualizados nas Tabelas 9 e 10, respectivamente. A luminosidade ( $L^*$ ) variou de 91,40 a 95,12 e foi influenciada negativamente ( $p < 0,05$ ) pela incorporação da  $\alpha$ -ciclodextrina e positivamente ( $p < 0,05$ ) pela adição da fibra de bambu ( $p < 0,05$ ). O índice de vermelho ( $a^*$ ) variou de -0,97 a -1,22 e foi positivamente influenciado pelo aumento do GPS e pela adição da inulina, polidextrose e fibra de bambu. Como os valores observados foram negativos, significa que a adição das fibras e do GPS diminuiu o índice  $a^*$ . O índice do amarelo ( $b^*$ ) apresentou variação de 8,34 a 11,04 e foi influenciado ( $p < 0,05$ ) positivamente pela adição da  $\alpha$ -ciclodextrina e negativamente pela incorporação da inulina. No entanto, considerando o aspecto visual, as EGs apresentaram uma coloração branca a levemente amarelada, similar a coloração do toucinho (Figura 3) e, dessa forma, a variação da cor observada não foi considerada um obstáculo para o seu emprego em produtos cárneos emulsionados.

#### 4.2.1.3. Resistência à compressão

Os parâmetros reológicos são importantes para a caracterização de sistemas gelificados. A tensão ( $\sigma_{rup}$ ) e deformação de ruptura ( $\epsilon_{rup}$ ), determinadas a partir de ensaio de compressão uniaxial, foram os parâmetros empregados para analisar o comportamento reológico das EGs (Tabelas 9 e 10). A  $\sigma_{rup}$  expressa a

força necessária para causar o rompimento da amostra, no geral, quanto mais dura a amostra maior a  $\sigma_{rup}$  observada. Por sua vez, a  $\epsilon_{rup}$  mostra o comportamento da amostra até o ponto de ruptura, valores baixos desse parâmetro indicam que a amostra apresenta um comportamento pouco elástico, quebrando-se facilmente, valores mais altos indicam um comportamento mais elástico, ou seja, a amostra apresenta uma taxa de deformação maior até a ruptura (CUNHA; 2002; PEREIRA, 2012; PEREIRA et al., 2013).

A  $\sigma_{rup}$  das EGs apresentou variação de 0,105 a 0,676 N.mm<sup>-1</sup>. O GPS exerceu o maior ( $p < 0,05$ ) efeito sobre esse parâmetro, mostrando que o seu incremento aumentou a dureza das EGs, resultado que pode ser creditado ao aumento do colágeno, e que está em concordância com a melhoria da estabilidade da emulsão observada com aumento do GPS. Em relação às fibras alimentares, apenas a fibra de bambu e a inulina apresentaram efeito positivo ( $p < 0,05$ ) no aumento da  $\sigma_{rup}$ . López-Castejón et al. (2019) reportaram aumento da estabilidade e dos parâmetros reológicos com a incorporação de inulina em emulsões formadas por  $\beta$ -lactoglobulina, segundo os autores esse efeito se pode ser explicado pelo aumento da viscosidade da fase contínua provocada pela inulina. Vários trabalhos relataram que o emprego de celulose (principal constituinte da fibra de bambu) aumentou os parâmetros reológicos em sistemas emulsionados (HU et al., 2016; JIA et al., 2015; WINUPRASITH; SUPHANTHARIKA, 2013). A  $\epsilon_{rup}$  das EGs foi afetada apenas pela  $\alpha$ -ciclodextrina, que causou diminuição ( $p < 0,05$ ) desse parâmetro, indicando que as EGs se tornaram mais quebradiças com a sua incorporação.

#### **4.2.1.4. Propriedades funcionais de sistemas modelos de emulsão cárnea contendo as emulsões géis**

A estabilidade da emulsão dos sistemas modelos de emulsão cárnea incorporados com as EGs variou de 85,74 a 91,76 % (Tabela 9) e não foi influenciada ( $p > 0,05$ ) por nenhuma das variáveis avaliadas (Tabela 10). O baixo teor das fibras isoladas incorporadas (0,6 %) pode ter impedido a expressão dos efeitos de cada uma na emulsão cárnea. Paglarini et al. (2018) também não verificaram efeito significativo na estabilidade de emulsões cárneas com a incorporação de EGs contendo inulina (3%). Os valores de estabilidade da emulsão observados, apesar de altos, ainda foram inferiores ao obtido na emulsão cárnea

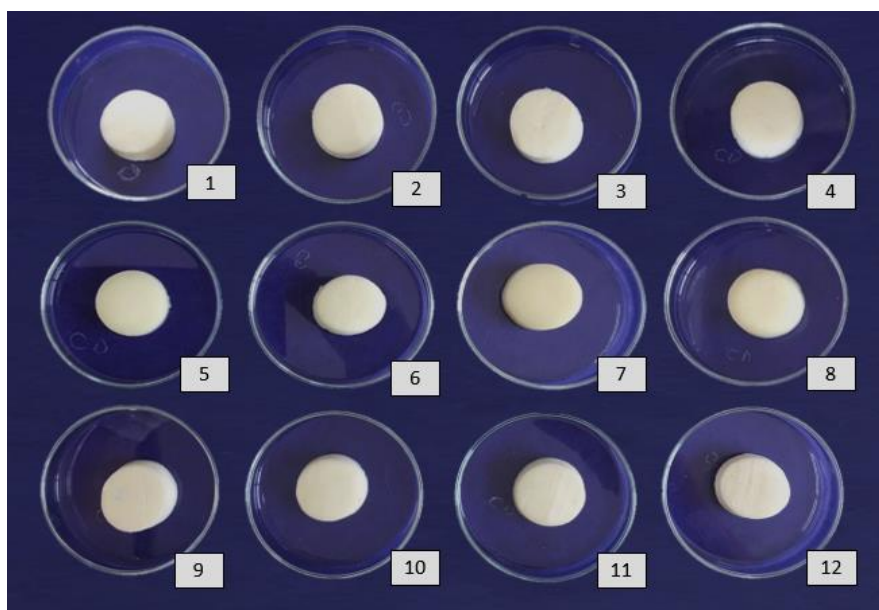
contendo toucinho (94,98 %). Possivelmente o maior teor de água contido nas formulações das EGs pode ter contribuído para a perda mais pronunciada de exsudado se comparado à emulsão cárnea com toucinho.

As variáveis avaliadas na elaboração das EGs não afetaram ( $p > 0,05$ ) o pH das emulsões cárneas (5,97 a 6,25). Esse resultado indicou que a diminuição do pH causada pelo aumento do GPS e pela adição das fibras de bambu, inulina e polidextrose nas EGs, como esperado, não influenciou o pH do sistema cárneo emulsionado. Além disso, os valores de pH observados foram próximos do pH da emulsão cárnea contendo toucinho (6,06), considerado tratamento controle (Tabela 9). O pH é um parâmetro importante para a estabilidade de produtos cárneos emulsionados, pois influencia a capacidade de retenção de água das proteínas miofibrilares (ALLAIS, 2010) e, conseqüentemente, atributos funcionais como formação de emulsão e gel.

A partir dos resultados avaliados, optou-se pela escolha da fibra de bambu e da inulina para compor as EGs à base de GPS. A primeira foi selecionada considerando a melhoria significativa da estabilidade das EGs. A  $\alpha$ -ciclodextrina, apresentou uma performance similar em relação a esse parâmetro, todavia essa fibra possui um custo elevado, o que possivelmente restringiria o seu uso na maioria dos produtos cárneos. A inulina e a polidextrose apresentaram um comportamento similar na maioria dos parâmetros avaliados, todavia, a inulina exerceu efeito significativo na  $\sigma$ rup e, conseqüentemente, contribuiu para o fortalecimento da rede de gel e, portanto, foi selecionada para o desenvolvimento das EGs.

#### **4.2.2. Seleção das emulsões géis à base de pele suína e fibras alimentares para aplicação em produtos cárneos emulsionados**

Para a seleção das melhores formulações de EGs para aplicação em produtos cárneos emulsionados foi proposto um delineamento fatorial completo (Tabela 3). Os resultados das variáveis dependentes (estabilidade da emulsão, pH e resistência à compressão) empregadas na avaliação das EGs e os coeficientes de regressão das variáveis independentes (GPS, inulina e fibra de bambu) são apresentados Tabela 11. O aspecto visual das EGs é mostrado na Figura 5.



**Figura 5.** Aspecto visual das emulsões géis obtidas no delineamento fatorial. As formulações dos tratamentos 1-12 podem ser visualizadas na Tabela 3.

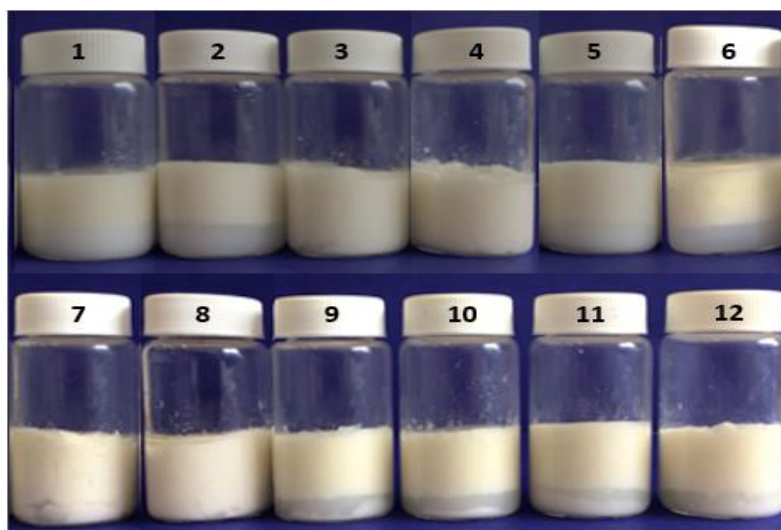
**Tabela 11.** Respostas das variáveis dependentes e coeficientes de regressão para as variáveis independentes obtidos no delineamento fatorial empregado na seleção das melhores formulações de emulsões géis

| Ensaio | Respostas para as variáveis dependentes |                  |                  |                  | Termos do modelo | Coeficientes de regressão (p-valor) |                           |                           |                           |
|--------|-----------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|        | EE                                      | pH               | $\sigma_{rup}$   | $\epsilon_{rup}$ |                  | EE                                  | pH                        | $\sigma_{rup}$            | $\epsilon_{rup}$          |
| 1      | 60,05                                   | 5,491            | 0,070            | 0,811            | Constante        | <b>78,11</b><br>(p<0,001)           | <b>5,497</b><br>(p<0,001) | <b>0,278</b><br>(p<0,001) | <b>0,976</b><br>(p<0,001) |
| 2      | 66,58                                   | 5,657            | 0,224            | 1,138            | GPS (v1)         | 3,31<br>(0,06)                      | <b>0,076</b><br>(0,03)    | <b>0,136</b><br>(p<0,001) | <b>0,130</b><br>(p<0,01)  |
| 3      | 93,80                                   | 5,242            | 0,157            | 0,876            | FB (v2)          | <b>16,66</b><br>(p<0,001)           | <b>-0,151</b><br>(0,003)  | <b>0,099</b><br>(p<0,001) | -0,040<br>(0,11)          |
| 4      | 96,68                                   | 5,694            | 0,407            | 0,941            | Inulina (v3)     | -0,30<br>(0,82)                     | -0,023<br>(0,39)          | <b>0,066</b><br>(p<0,001) | 0,018<br>(0,39)           |
| 5      | 55,72                                   | 5,764            | 0,092            | 0,879            | v1 x v2          | -1,12<br>(0,43)                     | 0,055<br>(0,08)           | <b>0,035</b><br>(p<0,01)  | -0,024<br>(0,27)          |
| 6      | 66,92                                   | 5,684            | 0,341            | 1,171            | v1 x v3          | 0,96<br>(0,49)                      | <b>-0,079</b><br>(0,03)   | <b>0,035</b><br>(p<0,01)  | 0,032<br>(0,17)           |
| 7      | 93,09                                   | 5,191            | 0,261            | 0,752            | v2 x v3          | 0,70<br>(0,61)                      | <b>-0,098</b><br>(0,02)   | <b>0,032</b><br>(p<0,01)  | -0,007<br>(0,74)          |
| 8      | 98,97                                   | 5,261            | 0,694            | 1,110            | v1 x v2 x v3     | -0,21<br>(0,88)                     | -0,017<br>(0,51)          | 0,011<br>(0,08)           | 0,041<br>(0,10)           |
| 9-12   | 76,38 ±<br>3,32                         | 5,496 ±<br>0,078 | 0,274 ±<br>0,014 | 1,007 ±<br>0,044 | R <sup>2</sup>   | <b>0,9785</b>                       | <b>0,9552</b>             | <b>0,9937</b>             | <b>0,8276</b>             |

EE: estabilidade da emulsão (%); FB: fibra de bambu;  $\sigma_{rup}$ : tensão de ruptura (N.mm<sup>-2</sup>);  $\epsilon_{rup}$ : deformação de ruptura (adimensional). Valores em negrito indicam que os coeficientes de regressão foram estatisticamente significativos. As formulações dos ensaios 1-12 podem ser visualizadas na Tabela 3.

#### 4.2.2.1. Propriedades funcionais das emulsões géis

A estabilidade da emulsão variou de 55,72 % a 98,97 %, as EGs dos tratamentos 3, 4, 7 e 8 apresentaram as melhores performances (Tabela 11, Figura 6). Esses tratamentos continham 10 % de fibra de bambu e essa foi a única variável que apresentou um coeficiente de regressão significativo ( $p < 0,05$ ) para o aumento da estabilidade da emulsão. Tais resultados são coerentes com a etapa anterior, na qual a fibra de bambu apresentou o maior efeito (12,85) na estabilidade das EGs e a inulina apresentou um efeito menor (3,61) nesse parâmetro (Tabela 10).



**Figura 6.** Aspecto visual das emulsões géis obtidas no delineamento fatorial após a análise da estabilidade da emulsão. As formulações dos ensaios 1-12 podem ser visualizadas na Tabela 3.

O pH das EGs variou de 5,19 a 5,76 entre os tratamentos do delineamento fatorial e foi influenciado negativamente ( $p < 0,05$ ) pela incorporação da fibra de bambu e pelas interações entre o GPS e as fibras de bambu e inulina e influenciado positivamente ( $p < 0,05$ ) pelo aumento do GPS, todavia com efeito menos pronunciado, confirmado pelo menor valor de coeficiente de regressão observado (Tabela 11). Das et al. (2013) também observaram queda do pH em nuggets com a incorporação de fibra de bambu. A  $\sigma_{rup}$  das EGs variou de 0,07 a 0,694 N.mm<sup>2</sup> entre os tratamentos do delineamento fatorial. O GPS, a fibra de bambu e a inulina, nessa ordem, e as suas interações contribuíram para o aumento

( $p < 0,05$ ) desse parâmetro. Esses resultados estão em concordância com os observados no delineamento PB realizado na primeira etapa. E também vão ao encontro de outros estudos que reportaram aumento dos parâmetros reológicos em géis ou emulsões contendo inulina (LÓPEZ-CASTEJÓN et al., 2019; NIETO-NIETO et al., 2015; NOURBEHESHT; SHEKARCHIZADEH; SOLTANIZADEH, 2018) e celulose ou seus derivados (HU et al., 2016; JIANG et al., 2018; SUN et al., 2007). Zheng et al. (2017) também reportaram aumento da consistência de pudins incorporados com fibra de bambu. A  $\epsilon$ rup das EGs, por outro lado, aumentou de maneira significativa ( $p < 0,05$ ) apenas com o incremento do GPS, indicando que as EGs apresentaram um comportamento mais elástico com o seu incremento. Resultado semelhante foi reportado por Haug, Draget e Smidsrød (2004) que demonstraram aumento do comportamento elástico (expresso pelo módulo  $G'$ ) em géis de gelatina (colágeno parcialmente hidrolisado) com o aumento da sua concentração.

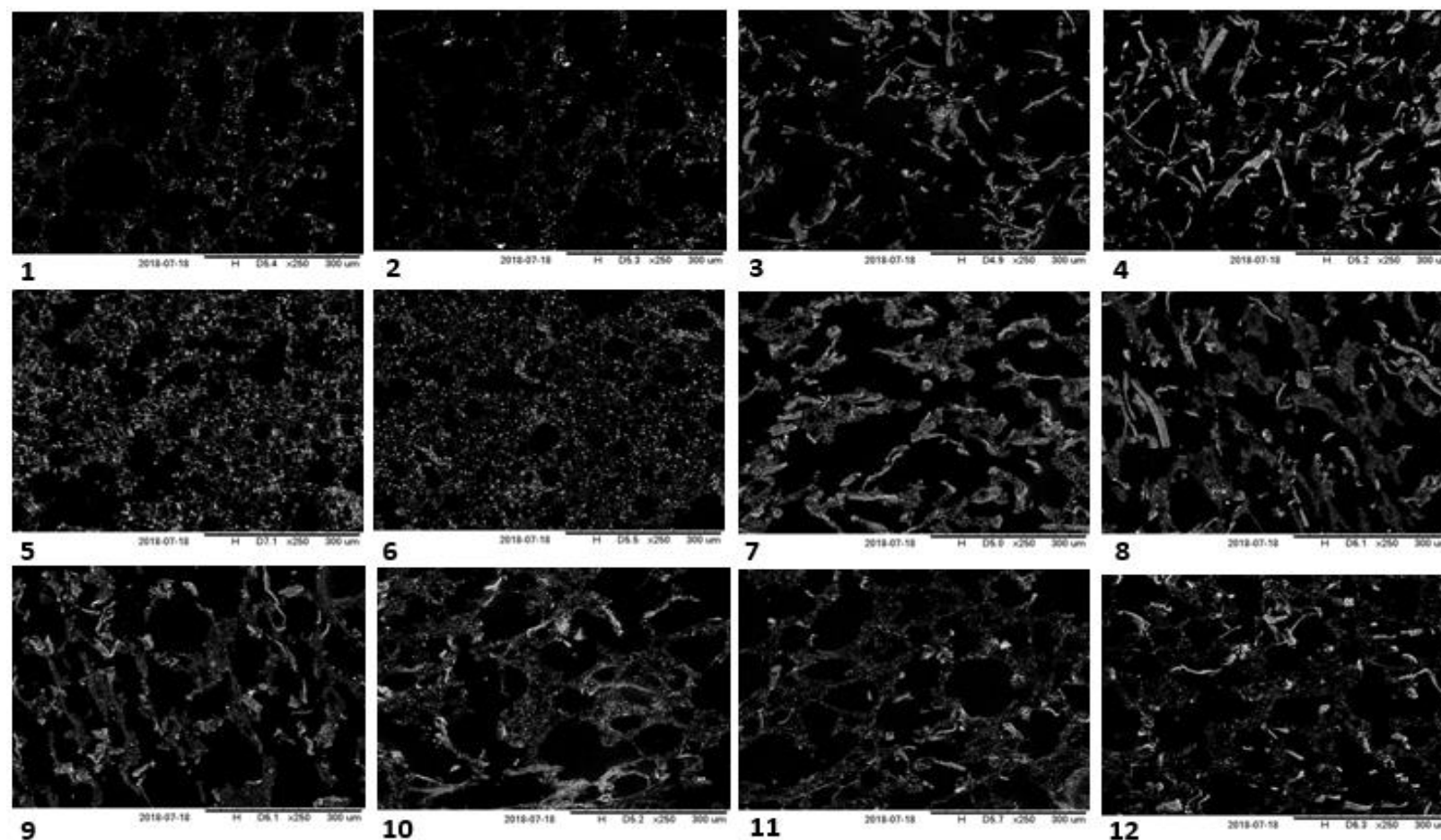
#### **4.2.2.2. Microestruturas das emulsões géis**

As microestruturas das EGs podem ser observadas na Figura 7. As EGs dos tratamentos 1 e 2 apresentaram uma rede fina e mais espaçada, esses tratamentos continham apenas a adição do GPS. As EGs dos tratamentos 3 e 4 continham além do GPS a incorporação da fibra de bambu, as topografias desses tratamentos mudaram consideravelmente se comparado aos tratamentos 1 e 2. A rede de gel, que se mostrou mais ou menos interconectada nas EGs 1 e 2, perdeu essa organização, e no seu lugar foi apresentada uma rede espessa, difusa e pouco conectada entre si, caracterizada pelas cadeias de celulose aparentes (principal constituinte da fibra de bambu). Como observado pelas micrografias, a fibra de bambu ocupou volume e promoveu o espessamento do gel, tal resultado contribuiu significativamente para o aumento da estabilidade da emulsão e da dureza das EGs.

As micrografias 5 e 6 mostram as estruturas das EGs formadas por GPS e inulina, quando comparadas às micrografias 1 e 2, notou-se uma organização similar da rede gelificada, porém, com a formação de uma rede mais espessa e com maior número de interconexões, cujo resultado contribuiu efetivamente para o

fortalecimento do gel, observado pelo aumento da tensão de ruptura com a incorporação da inulina às EGs.

A interação entre GPS, fibra de bambu e inulina é mostrada nos tratamentos 7 e 8 e nos ensaios do ponto central (9, 10, 11 e 12). As micrografias mostraram uma estrutura caracterizada tanto pela adição da fibra de bambu, dado a presença aparente das cadeias de celulose, como pela presença da inulina devido ao aumento de volume da rede gelificada, com interconexões na rede gelificada mais evidentes. Essa interação aparente nas microestruturas entre as fibras e o GPS foi corroborada pelo aumento da  $\sigma_{rup}$  das EGs proporcionado pelas variáveis isoladas e suas interações.



**Figura 7.** Microestrutura das emulsões géis obtidas no delineamento fatorial (aumento de 250x). As formulações dos ensaios 1-12 podem ser visualizadas na Tabela 3.

#### **4.2.2.3. Propriedades funcionais dos sistemas modelos de emulsão carne contendo as emulsões géis**

Para avaliar o desempenho das EGs na estabilidade da matriz carne, foram elaborados sistemas modelos de emulsão carne contendo 20 % das EGs com base em uma matriz carne nobre, o pernil suíno, e uma matriz carne de baixo custo, a CMSF. Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os resultados da estabilidade da emulsão carne, pH e resistência à compressão das emulsões carnes do sistema modelo nobre e do sistema modelo contendo CMSF, respectivamente.

No sistema emulsionado contendo apenas carne suína nenhuma das variáveis analisadas apresentou coeficientes de regressão significativos em relação à estabilidade da emulsão carne (96,07 a 99,36 %),  $\sigma_{rup}$  (1,491 a 1,895 N.mm<sup>-2</sup>) e  $\epsilon_{rup}$  (1,46 a 1,675). O pH apresentou uma faixa estreita de variação nas emulsões carnes (5,95 a 6,12) e a interação da fibra de bambu com inulina contribuiu para o aumento ( $p < 0,05$ ) desse parâmetro. As características das emulsões carnes são determinadas pelas proteínas miofibrilares. O pernil suíno, como uma matéria prima nobre, fornece alto teor de proteínas miofibrilares, que possivelmente impediu a expressão dos efeitos dos componentes presentes nas EGs. Resultado que pode ser considerado positivo, visto que, o ideal é que os ingredientes melhorem ou não interfiram na estabilidade da emulsão em sistemas carnes emulsionados. Como pode ser observado na Tabela 12, os valores apresentados para a estabilidade da emulsão (98,72 %) e o pH (6,08) da emulsão carne contendo toucinho foram muito próximos aos valores observados para as emulsões carnes incorporadas com as EGs.

A CMSF é extensivamente empregada no Brasil na elaboração de produtos emulsionados de baixo custo. A legislação brasileira permite a incorporação de até 60 % de CMS em salsicha e mortadela (BRASIL, 2000). Essa matéria-prima tem menor teor de proteínas miofibrilares, maior teor de umidade, apresenta maior conteúdo de cálcio advindo da incorporação óssea e é mais susceptível à oxidação pela incorporação de substâncias heme e de lipídios insaturados durante o processo de extração (CHANT et al., 1977; TRINDADE et al., 2008; TRINDADE; JOSEFINA; CASTILLO, 2004). Portanto, a CMSF tem menor

aptidão para formar emulsões cárneas de alta qualidade, principalmente em relação à estabilidade da emulsão, textura e estabilidade oxidativa. Sendo assim, a avaliação do desempenho das EGs em sistemas modelos de emulsão cárnea elaborados com CMSF foi fundamental para indicar a robustez desse ingrediente como substituto do toucinho em formulações de baixo custo.

Os resultados apresentados pelas emulsões cárneas à base de CMSF são mostrados na Tabela 13. Dentre as variáveis avaliadas, apenas a fibra de bambu exerceu efeito positivo ( $p < 0,05$ ) na estabilidade da emulsão cárnea, que variou de 93,93 a 96,24 %. O pH apresentou variação de 6,27 a 6,32 e foi influenciado negativamente ( $p < 0,05$ ) pela fibra de bambu, pelo GPS e pela interação entre o GPS e a inulina. Todavia, a faixa de variação apresentada foi pequena, dessa forma, ela não foi considerada relevante para causar mudanças na estabilidade da emulsão cárnea devido à diminuição do pH. Como já mencionado, o pH é um parâmetro fundamental para a estabilidade de produtos cárneos, visto que, a capacidade de retenção de água diminui quando os valores de pH se aproximam do ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares (pH de 5,3) (SUN; HOLLEY, 2011).

A erup das emulsões cárneas variou de 0,895 a 1,345 N.mm<sup>-2</sup> e foi influenciada positivamente ( $p < 0,05$ ) pela fibra de bambu e negativamente ( $p < 0,05$ ) pela inulina. Esses resultados estão de acordo com Han e Bertram (2017), que observaram aumento da dureza de sistemas modelos de emulsão cárnea incorporados com celulose e Magalhães (2017), que reportou aumento da dureza de mortadela incorporada com fibra de bambu e por Felisberto et al. (2015), que relataram diminuição da força de compressão de mortadelas Bologna com a incorporação de inulina. A erup das emulsões cárneas não foi afetada ( $p > 0,05$ ) por nenhuma das variáveis. Emulsões cárneas formadas por CMSF tendem a ser menos estáveis devido ao menor teor proteico e ao maior conteúdo de umidade dessa matéria-prima (PEREIRA et al., 2011). Portanto, a incorporação das EGs contendo fibra de bambu mostrou-se benéfica para a melhoria dos parâmetros de qualidade das emulsões cárneas formadas por CMSF.

**Tabela 12.** Respostas das variáveis dependentes e coeficientes de regressão para as variáveis independentes obtidos no delineamento fatorial empregado na seleção das melhores formulações de emulsões géis

| Ensaio          | Emulsão cárnea com pernil suíno |              |               |               | Termos do modelo     | Coeficientes de regressão (p valor) |                           |                           |                           |
|-----------------|---------------------------------|--------------|---------------|---------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                 | EE                              | pH           | σrup          | εrup          |                      | EE                                  | pH                        | σrup                      | εrup                      |
| 1               | 97,45                           | 6,12         | 1,496         | 1,675         | Constante            | <b>97,91 (p&lt;0,001)</b>           | <b>6,041 (p&lt;0,001)</b> | <b>1,739 (p&lt;0,001)</b> | <b>1,497 (p&lt;0,001)</b> |
| 2               | 99,06                           | 6,09         | 1,843         | 1,541         | GPS (v1)             | 0,482 (0,30)                        | -0,007 (0,47)             | 0,159 (0,10)              | 0,016 (0,77)              |
| 3               | 97,60                           | 6,01         | 1,624         | 1,503         | FB (v2)              | 0,622 (0,20)                        | <b>-0,030 (0,02)</b>      | 0,133 (0,15)              | -0,014 (0,79)             |
| 4               | 98,58                           | 5,95         | 1,895         | 1,501         | Inulina (v3)         | -0,164 (0,70)                       | -0,012 (0,22)             | 0,085 (0,32)              | -0,006 (0,92)             |
| 5               | 96,07                           | 6,01         | 1,550         | 1,461         | v1 x v2              | -0,144 (0,74)                       | -0,001 (0,93)             | -0,109 (0,22)             | 0,020 (0,71)              |
| 6               | 96,97                           | 6,02         | 1,774         | 1,578         | v1 x v3              | -0,166 (0,70)                       | 0,015 (0,15)              | -0,121 (0,18)             | 0,050 (0,38)              |
| 7               | 98,99                           | 6,01         | 1,891         | 1,496         | v2 x v3              | 0,706 (0,15)                        | <b>0,033 (0,02)</b>       | -0,037 (0,64)             | 0,039 (0,48)              |
| 8               | 99,36                           | 6,04         | 1,818         | 1,642         | v1 x v2 x v3         | 0,011 (0,98)                        | 0,006 (0,50)              | 0,035 (0,66)              | -0,013 (0,81)             |
| 9-12            | 97,69 ± 1,28                    | 6,06 ± 0,004 | 1,869 ± 0,158 | 1,392 ± 0,071 | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>0,648</b>                        | <b>0,8924</b>             | <b>0,7823</b>             | <b>0,3311</b>             |
| <b>Toucinho</b> | 98,72 ± 0,52                    | 6,08 ± 0,006 | 2,097 ± 0,202 | 1,444 ± 0,109 |                      |                                     |                           |                           |                           |

EE: estabilidade da emulsão (%); FB: fibra de bambu; σrup: tensão de ruptura (N.mm<sup>-2</sup>); εrup: deformação de ruptura (adimensional). Valores em negrito indicam que os coeficientes de regressão foram estatisticamente significativos. As formulações dos ensaios 1-12 podem ser visualizadas na Tabela 3.

**Tabela 13.** Respostas das variáveis dependentes e coeficientes de regressão para as variáveis independentes obtidos no delineamento fatorial empregado na seleção das melhores formulações de emulsões géis

| Ensaio          | Emulsão cárnea com CMSF |             |               |               | Termos do modelo     | Coeficientes de regressão (p-valor) |                           |                          |                          |
|-----------------|-------------------------|-------------|---------------|---------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                 | EE                      | pH          | σrup          | εrup          |                      | EE                                  | pH                        | σrup                     | εrup                     |
| 1               | 94,91                   | 6,32        | 1,074         | 1,369         | Constante            | <b>94,99 (p&lt;0,01)</b>            | <b>6,303 (p&lt;0,01)</b>  | <b>1,103 (p&lt;0,01)</b> | <b>1,457 (p&lt;0,01)</b> |
| 2               | 95,13                   | 6,31        | 1,033         | 1,488         | GPS (v1)             | 0,205 (0,18)                        | <b>-0,008 (0,01)</b>      | 0,043 (0,06)             | 0,016 (0,43)             |
| 3               | 95,43                   | 6,29        | 1,262         | 1,498         | FB (v2)              | <b>0,528 (0,02)</b>                 | <b>-0,012 (p&lt;0,01)</b> | <b>0,071 (0,01)</b>      | 0,007 (0,71)             |
| 4               | 96,24                   | 6,29        | 1,345         | 1,419         | Inulina (v3)         | -0,301 (0,08)                       | -0,001 (0,52)             | <b>-0,058 (0,02)</b>     | 0,003 (0,88)             |
| 5               | 93,93                   | 6,33        | 0,895         | 1,409         | v1 x v2              | 0,032 (0,82)                        | 0,001 (0,74)              | -0,022 (0,25)            | -0,034 (0,13)            |
| 6               | 94,42                   | 6,30        | 1,195         | 1,491         | v1 x v3              | -0,051 (0,71)                       | <b>-0,006 (0,03)</b>      | 0,032 (0,12)             | 0,006 (0,76)             |
| 7               | 95,41                   | 6,30        | 1,081         | 1,446         | v2 x v3              | 0,122 (0,40)                        | -0,001 (0,79)             | <b>-0,054 (0,03)</b>     | -0,008 (0,68)            |
| 8               | 95,54                   | 6,27        | 1,079         | 1,451         | v1 x v2 x v3         | -0,118 (0,41)                       | -0,001 (0,49)             | <b>-0,053 (0,03)</b>     | 0,015 (0,45)             |
| 9-12            | 94,71 ± 0,13            | 6,31 ± 0,04 | 1,067 ± 0,02  | 1,478 ± 0,051 | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>0,8717</b>                       | <b>0,952</b>              | <b>0,9413</b>            | <b>0,5839</b>            |
| <b>Toucinho</b> | 96,07 ± 0,15            | 6,30 ± 0,01 | 1,102 ± 0,101 | 1,421 ± 0,103 |                      |                                     |                           |                          |                          |

EE: estabilidade da emulsão (%); FB: fibra de bambu; σrup: tensão de ruptura (N.mm<sup>-2</sup>); εrup: deformação de ruptura (adimensional). Valores em negrito indicam que os coeficientes de regressão foram estatisticamente significativos. As formulações dos ensaios 1-12 podem ser visualizadas na Tabela 3

### **4.3. ETAPA 3: SUBSTITUIÇÃO DO TOUCINHO POR EMULSÕES GÉIS À BASE DE PELE SUÍNA, ÓLEO DE CANOLA E FIBRAS ALIMENTARES EM SALSICHAS COM ALTO TEOR DE CARNE DE CARNE MECANICAMENTE SEPARADA**

#### **4.3.1. Composição proximal e estabilidade da emulsão**

Os resultados referentes à composição proximal e a estabilidade da emulsão são mostrados na Tabela 14. A umidade variou de 57,67 % (FC1) a 68,15 % (FC2). Os tratamentos com redução de gordura apresentaram os maiores teores de umidade ( $p < 0,05$ ) devido às estratégias empregadas: incorporação de água (FC2) ou a incorporação das EGs (F1, F2, F3 e F4) que continham umidade superior ao toucinho (Tabela 4). O tratamento FC2 não atendeu o Padrão de Identidade e Qualidade para Salsicha estipulado pela legislação Brasileira (BRASIL, 2000) no que concerne ao teor de umidade, apresentando um valor superior ao permitido que é de no máximo 65 % de umidade.

O teor de lipídios em todos os tratamentos foi superior à concentração teórica devido à incorporação da gordura presente nas matérias-primas cárneas (Tabela 4). O tratamento controle FC1 apresentou o maior ( $p < 0,05$ ) teor de lipídios. A substituição do toucinho pela água (FC2) ou pelas EGs (F1, F2, F3 e F4), como esperado, reduziu a concentração lipídica das formulações de salsichas. Esse resultado está em concordância com a composição das EGs que continham aproximadamente 50 % de lipídios (Tabela 4). O tratamento F4 apresentou a maior redução do aporte lipídico, 29 % em relação ao FC1.

Os tratamentos F2 e F4 apresentaram o menor ( $p < 0,05$ ) teor proteico, o que pode ser explicado pela substituição total da gordura suína pelas EGs, que apresentaram menor concentração de proteínas que o toucinho (Tabela 4). Nos demais tratamentos, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) no teor de proteínas. O tratamento FC2 apresentou o menor ( $p < 0,05$ ) teor de cinzas devido à incorporação de água em substituição ao toucinho. Os demais tratamentos não diferiram ( $p > 0,05$ ) em relação a esse parâmetro.

O teor de fibras foi estimado de acordo com as concentrações de fibras contidas nas EGs e a pureza informada pelos fabricantes. O tratamento F4 apresentou um teor de fibras superior a 3 %, e dessa forma, poderia ser considerado

fonte de fibras (BRASIL, 2012; EU, 2006). Os tratamentos F2 e F3 apresentaram aproximadamente 2 % de fibras e o tratamento F1 apresentou 1 %. Apesar dessas formulações não serem consideradas fontes de fibras, elas poderiam contribuir para o aumento do consumo desse componente na dieta, visto que, grande parte da população não consome a quantidade recomendada de fibras (HAN; BERTRAM, 2017). Segundo Mehta et al. (2013), a recomendação de consumo diário de fibras é de 28-36 g, sendo que 70 a 80 % desse total devem ser compostos por fibras insolúveis.

A estabilidade da emulsão (EE) reflete a capacidade da emulsão de resistir às mudanças nas suas características ao longo do tempo, sendo que o principal intuito das estratégias de reformulação é garantir a máxima estabilidade ao produto (SERDAROĞLU; ÖZTÜRK; URGU, 2016). Dentre os tratamentos avaliados, houve uma variação de 93,9 % (FC2) a 98,0 % (F4) nos resultados reportados para EE. O tratamento FC2 continha o maior teor de água incorporado na formulação, portanto, a liberação de exsudado superior ( $p < 0,05$ ) aos demais tratamentos era esperada. A instabilidade da emulsão apresentada pela substituição da gordura por água em produtos emulsionados é uma das principais limitações do uso dessa estratégia (PINTADO et al., 2018). Dentre os tratamentos contendo as EGs, apenas o tratamento F4 não diferiu ( $p > 0,05$ ) do controle FC1. Esse tratamento continha o maior teor de fibras (3,93 %), o que possivelmente contribuiu para o aumento da retenção de água no produto. A estabilidade da emulsão não diferiu ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos F1, F2 e F3, mas foi inferior ( $P < 0,05$ ) ao tratamento controle FC1. O menor teor de fibras apresentado por essas formulações somado a maior quantidade de água incorporada por meio das EGs pode ter contribuído para uma perda de exsudado ligeiramente superior ao observado na formulação controle FC1. A adição de fibras em produtos cárneos contribui para a melhoria das propriedades de ligação e retenção de água, reduzindo dessa forma, a perda no cozimento e no armazenamento (TALUKDER, 2015; VERMA; BANERJEE, 2010). Todavia, esse efeito é bastante variável e dependente da fibra utilizada, da sua concentração, bem como da interação com os demais componentes da emulsão cárnea como pode ser constatado nos estudos de Felisberto et al. (2015) e Han e Bertram (2017).

**Tabela 14.** Composição proximal em base úmida (g/100g) e estabilidade da emulsão (%) das salsichas

| Parâmetros     | Tratamentos        |                     |                    |                     |                     |                     | SEM  |
|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
|                | FC1                | FC2                 | F1                 | F2                  | F3                  | F4                  |      |
| Umidade        | 57,67 <sup>f</sup> | 68,15 <sup>a</sup>  | 61,65 <sup>d</sup> | 63,96 <sup>b</sup>  | 60,55 <sup>e</sup>  | 63,54 <sup>c</sup>  | 0,69 |
| Lipídios       | 23,62 <sup>a</sup> | 15,07 <sup>e</sup>  | 20,75 <sup>b</sup> | 18,13 <sup>cd</sup> | 19,66 <sup>bc</sup> | 16,69 <sup>de</sup> | 0,68 |
| Proteína       | 15,71 <sup>a</sup> | 14,87 <sup>ab</sup> | 15,02 <sup>a</sup> | 13,58 <sup>c</sup>  | 14,92 <sup>a</sup>  | 13,92 <sup>bc</sup> | 0,19 |
| Cinzas         | 2,61 <sup>a</sup>  | 2,31 <sup>b</sup>   | 2,69 <sup>a</sup>  | 2,62 <sup>a</sup>   | 2,53 <sup>ab</sup>  | 2,63 <sup>a</sup>   | 0,04 |
| Fibras totais* | 0                  | 0                   | 1,00               | 2,00                | 1,93                | 3,93                | -    |
| EE             | 97,2 <sup>a</sup>  | 93,9 <sup>c</sup>   | 96,0 <sup>b</sup>  | 96,2 <sup>b</sup>   | 96,3 <sup>b</sup>   | 98,0 <sup>a</sup>   | 0,22 |

FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI. EE: Estabilidade da emulsão cárnea. \* o teor de fibras foi estimado de acordo com a formulação e a pureza informada pelos da inulina (96,5 %) e da fibra de bambu (99,6 %) Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos. SEM: erro padrão da média.

#### 4.3.2. Perfil lipídico

O perfil lipídico das salsichas é mostrado na Tabela 15. As estratégias de redução da gordura saturada sugeridas neste estudo permitiram obter uma redução de 40,1 % (F1) a 76,9 % (F4) dos ácidos graxos saturados nas formulações de salsichas. O teor de ácidos graxos poli-insaturados dos tratamentos F1, F2, F3 e F4 foi consideravelmente superior ao controle FC1, além disso, os tratamentos F2 e F4 continham, respectivamente, 0,90 g/100g e 0,89 g/100g de ácido linolênico e, portanto, podem ser considerados fontes de ômega 3 (n-3), visto que, fornecem quantidade superior a 0,6 g de n-3/100g de produto (BRASIL, 2012; FDA, 2016). A relação ômega 6/ômega 3 (n-6/n-3) foi reduzida em mais de 50 % nas formulações contendo as EGs, sendo que, os tratamentos F2 e F4 apresentaram uma relação n-6/n-3 próxima a 4. Estudos sugerem que uma relação de 1-4/1 entre n-6/n-3 é a ideal para diminuir o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares (BERNARDI et al., 2016; SIMOPOULOS, 2016). Os índices aterogênico e

trombogênico diminuíram em aproximadamente 43 % e 56 % nos tratamentos F1 e F3 e 70 % e 80 % nos tratamentos F2 e F4, respectivamente, se comparados ao tratamento controle FC1.

**Tabela 15.** Composição de ácidos graxos (g/100g de produto) das salsichas

| Ácidos<br>graxos | Tratamentos       |                   |                   |                   |                   |                   | SEM  |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|
|                  | FC1               | FC2               | F1                | F2                | F3                | F4                |      |
| C14:0            | 0,31 <sup>a</sup> | 0,19 <sup>b</sup> | 0,21 <sup>b</sup> | 0,08 <sup>c</sup> | 0,19 <sup>b</sup> | 0,07 <sup>c</sup> | 0,02 |
| C16:0            | 6,37 <sup>a</sup> | 3,93 <sup>b</sup> | 3,94 <sup>b</sup> | 2,19 <sup>d</sup> | 3,61 <sup>c</sup> | 1,85 <sup>e</sup> | 0,36 |
| C18:0            | 2,81 <sup>a</sup> | 1,65 <sup>b</sup> | 1,55 <sup>c</sup> | 0,35 <sup>d</sup> | 1,54 <sup>c</sup> | 0,27 <sup>d</sup> | 0,21 |
| Σ SFA            | 9,49              | 5,77              | 5,69              | 2,62              | 5,34              | 2,19              |      |
| C16:1            | 0,72 <sup>b</sup> | 0,49 <sup>c</sup> | 0,52 <sup>c</sup> | 0,82 <sup>a</sup> | 0,46 <sup>d</sup> | 0,71 <sup>b</sup> | 0,03 |
| C18:1            | 9,98 <sup>a</sup> | 6,39 <sup>f</sup> | 9,26 <sup>b</sup> | 9,05 <sup>c</sup> | 8,86 <sup>d</sup> | 8,66 <sup>e</sup> | 0,27 |
| Σ MUFA           | 10,70             | 6,89              | 9,77              | 9,87              | 9,32              | 9,37              |      |
| C18:2            | 2,37 <sup>c</sup> | 1,78 <sup>d</sup> | 3,94 <sup>a</sup> | 4,01 <sup>a</sup> | 3,74 <sup>b</sup> | 3,64 <sup>b</sup> | 0,21 |
| C18:3            | 0,08 <sup>d</sup> | 0,07 <sup>d</sup> | 0,52 <sup>c</sup> | 0,90 <sup>a</sup> | 0,56 <sup>b</sup> | 0,89 <sup>a</sup> | 0,08 |
| Σ PUFA           | 2,50              | 1,86              | 4,47              | 4,91              | 4,30              | 4,50              |      |
| PUFA/SFA         | 0,26              | 0,32              | 0,78              | 1,88              | 0,80              | 2,06              |      |
| n-6/n-3          | 16,92             | 22,25             | 7,58              | 4,45              | 6,68              | 4,07              |      |
| IA               | 0,58              | 0,54              | 0,33              | 0,17              | 0,32              | 0,15              |      |
| IT               | 0,76              | 0,65              | 0,33              | 0,15              | 0,33              | 0,15              |      |

FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI. SFA: ácido graxo saturado; MUFA: ácido graxo monoinsaturado; PUFA: ácido graxo poli-insaturado. SEM: erro padrão da média. Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença estatística pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). IA: índice aterogênico; IT: índice trombogênico.

#### 4.3.3. pH, Aw, oxidação lipídica e suculência instrumental

Os resultados referentes aos valores de pH, Aw, índice de TBARS e suculência instrumental são apresentados na Tabela 16. As EGs apresentaram pH inferior ao toucinho (Tabela 4), no entanto, não houve variação significativa ( $p > 0,05$ ) do pH entre os tratamentos contendo as EGs e o tratamento controle FC1 no 1º e no 30º dias de armazenamento, indicando que em relação a esse parâmetro, as EGs são uma alternativa adequada para substituição do toucinho. O tempo de armazenamento refrigerado causou aumento ( $p < 0,05$ ) do pH em todos tratamentos, isso pode estar relacionado à degradação proteica e a liberação de aminoácidos de caráter básico que podem estar associadas ao metabolismo microbiano (MOHAN; RAVISHANKAR; SRINIVASAGOPAL, 2008).

A Aw não foi afetada pelas formulações ou pelo armazenamento ( $p > 0,05$ ), o que sugere que a atuação das fibras e do colágeno na emulsão cárnea não promoveu aumento do teor de água ligada nas matrizes estudadas. Resultado semelhante foi observado por Alves et al. (2016) na incorporação de gel de pele suína e farinha de banana verde na substituição do toucinho em mortadela Bologna. Magalhães (2017) também não observou diferenças na Aw de mortadelas contendo 2,5 % e 5 % de fibra de bambu.

A oxidação lipídica foi avaliada pelo índice de TBARS e foi influenciada pelos diferentes tratamentos e pelo tempo de armazenamento ( $p < 0,05$ ). Os valores de TBARS aumentaram ( $p < 0,05$ ) com o decorrer do armazenamento para todos os tratamentos. Contudo, os valores observados até o 30º dia foram considerados baixos (valor máximo de 0,217 mg MDA/kg), visto que, valores até 1,0 mg MDA/kg são consideráveis aceitáveis em produtos cárneos (CANDOGAN; KOLSARICI, 2003 ; MENEGAS et al., 2013). Os valores de oxidação lipídica mostrados pelas salsichas contendo as EGs, de modo geral, foi superior ( $p < 0,05$ ) ao tratamento FC1, possivelmente devido ao teor mais elevado de ácidos graxos poli-insaturados (Tabela 15). Resultados similares, em que tratamentos contendo toucinho apresentaram valores de TBARS inferiores aqueles com incorporação de óleos, foram observados por Delgado-Pando et al. (2011), Freire et al. (2016) e Salcedo-Sandoval et al. (2015). A incorporação de 10 % ou 20 % das emulsões géis EG-FB (F1 e F2) e EG-FBI (F3 e F4) não resultou em mudanças significativas ( $p > 0,05$ ) da

oxidação lipídica das salsichas. Possivelmente, a presença de aditivos que atuam como antioxidantes (eritorbato, nitrito e tripolifosfato), o baixo teor de oxigênio na embalagem e o armazenamento em baixas temperaturas e na ausência de luz retardaram os processos oxidativos (DELGADO-PANDO et al., 2011).

**Tabela 16.** pH, Aw, índice de TBARS (mg MDA/kg) e suculência instrumental (%) das salsichas

| Parâmetros                 | Tempo<br>(dias) | Tratamentos          |                      |                     |                      |                      |                     | SEM    |
|----------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------|
|                            |                 | FC1                  | FC2                  | F1                  | F2                   | F3                   | F4                  |        |
| pH                         | 1               | 5,97 <sup>b3</sup>   | 6,03 <sup>a3</sup>   | 5,97 <sup>b3</sup>  | 5,98 <sup>b3</sup>   | 5,99 <sup>b3</sup>   | 5,99 <sup>b3</sup>  | < 0,01 |
|                            | 15              | 6,18 <sup>b2</sup>   | 6,22 <sup>a2</sup>   | 6,14 <sup>c2</sup>  | 6,13 <sup>c2</sup>   | 6,17 <sup>b2</sup>   | 6,16 <sup>b2</sup>  | < 0,01 |
|                            | 30              | 6,30 <sup>abc1</sup> | 6,32 <sup>a1</sup>   | 6,29 <sup>c1</sup>  | 6,29 <sup>c1</sup>   | 6,29 <sup>c1</sup>   | 6,31 <sup>ab1</sup> | < 0,01 |
| Aw                         | 1               | 0,982                | 0,980                | 0,978               | 0,980                | 0,982                | 0,980               | < 0,01 |
|                            | 15              | 0,977                | 0,978                | 0,975               | 0,980                | 0,980                | 0,978               | < 0,01 |
|                            | 30              | 0,978                | 0,980                | 0,980               | 0,975                | 0,980                | 0,978               | < 0,01 |
| Tbars                      | 1               | 0,043 <sup>b3</sup>  | 0,050 <sup>b2</sup>  | 0,057 <sup>b3</sup> | 0,047 <sup>b3</sup>  | 0,087 <sup>a3</sup>  | 0,080 <sup>a3</sup> | < 0,01 |
|                            | 15              | 0,093 <sup>c2</sup>  | 0,160 <sup>a1</sup>  | 0,160 <sup>a2</sup> | 0,150 <sup>a2</sup>  | 0,117 <sup>bc2</sup> | 0,133 <sup>b2</sup> | < 0,01 |
|                            | 30              | 0,163 <sup>b1</sup>  | 0,163 <sup>b1</sup>  | 0,203 <sup>a1</sup> | 0,217 <sup>a1</sup>  | 0,213 <sup>a1</sup>  | 0,203 <sup>a1</sup> | < 0,01 |
| Suculência<br>Instrumental | 1               | 10,49 <sup>b1</sup>  | 13,69 <sup>a1</sup>  | 8,63 <sup>c1</sup>  | 9,92 <sup>bc1</sup>  | 9,79 <sup>bc1</sup>  | 9,44 <sup>bc1</sup> | 0,32   |
|                            | 15              | 9,71 <sup>b1</sup>   | 11,85 <sup>a2</sup>  | 9,88 <sup>ab1</sup> | 10,47 <sup>ab1</sup> | 9,64 <sup>b1</sup>   | 9,28 <sup>b1</sup>  | 0,26   |
|                            | 30              | 9,66 <sup>b1</sup>   | 12,65 <sup>a12</sup> | 9,03 <sup>b1</sup>  | 9,41 <sup>b1</sup>   | 8,48 <sup>b1</sup>   | 8,50 <sup>b1</sup>  | 0,29   |

FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI. Letras iguais na mesma linha e números iguais na mesma coluna indicam que não há diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos e nos tratamentos ao longo do tempo de armazenamento. SEM: erro padrão da média.

A suculência instrumental é mensurada pela quantidade de líquido perdido pelo alimento mediante aplicação de uma força de compressão que busca simular a liberação de líquido durante a mastigação. Conforme esperado, o tratamento FC2 apresentou maior ( $p < 0,05$ ) suculência devido ao maior teor de

água incorporada nessa formulação (Tabela 5). O que nesse caso, não é necessariamente positivo, pois uma formulação com alto teor de água pode apresentar textura muito mole e pouco coesa. Os demais tratamentos continham menor variação do teor de umidade (Tabela 3), e nesse caso, a liberação de exsudado pôde ser correlacionada de maneira mais assertiva com a atuação das fibras na retenção da água na matriz cárnea. De modo geral, a suculência instrumental das salsichas com adição das EGs não diferiu ( $p > 0,05$ ) do tratamento controle FC1, isso indicou que as fibras contribuíram para a retenção de água, visto que os tratamentos contendo as EGs apresentaram umidade superior ao tratamento controle FC1 (Tabela 14). No entanto, essa retenção não foi tão extensa a ponto dessas amostras apresentarem suculência menor que o tratamento controle FC1, o que pode ser considerado um resultado positivo, visto que a suculência é dos parâmetros que mais influenciam a aceitação sensorial dos produtos cárneos.

#### **4.3.4. Cor objetiva**

A cor é um importante parâmetro para a aceitação de produtos cárneos, devido à forte associação dos consumidores com a coloração característica dos produtos cárneos que costuma ser bastante homogênea, até mesmo entre diferentes marcas. Os parâmetros de cor objetiva das salsichas podem ser visualizados na Tabela 17. A adição das EGs causou o aumento ( $p < 0,05$ ) da coordenada  $L^*$  (luminosidade) e a diminuição ( $p < 0,05$ ) de coordenada  $a^*$  (índice do vermelho) das salsichas. Resultado semelhante foi observado por Zhuang et al. (2016) com a incorporação de óleo de canola pré-emulsionado combinado com fibra de cana de açúcar em emulsão cárnea e por Huang, Tsai e Chen (2011) com a incorporação de fibras alimentares (fibra de trigo, fibra de aveia e inulina) em salsichas. A coordenada  $b^*$  (índice do amarelo) foi pouco afetada pela incorporação das EGs, possivelmente a coloração branca das fibras utilizadas e a tonalidade levemente amarelada do óleo de canola não resultaram em mudanças expressivas do índice do amarelo.

Os parâmetros de cor objetiva isolados, apesar de fornecerem um indicativo das variações ocasionadas na coloração, não apresentam uma confirmação prática acerca da mudança de cor no produto. Dessa forma, foi

calculado o índice de brancura que correlaciona as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . A incorporação das EGs aumentou o índice de brancura ( $p < 0,05$ ) das salsichas se comparado aos tratamentos controle FC1 e FC2. Foi observado também que o índice de brancura das salsichas aumentou ( $p < 0,05$ ) com o aumento da EG-FB de 10 % para 20 % (tratamentos F1 e F2), mas não com o aumento da EG-FBI nos tratamentos F3 e F4, isso sugere que a inulina presente na EG-FBI atenuou o efeito da fibra de bambu no aumento do índice de brancura das salsichas.

A luminosidade não foi afetada ( $p > 0,05$ ) pelo armazenamento, a coordenada  $a^*$  aumentou ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos F1 e F2 e a coordenada  $b^*$  aumentou ( $p < 0,05$ ) nos tratamentos F1, F2 e F4. Todavia, o índice de brancura das salsichas dos diferentes tratamentos não foi afetado ( $p < 0,05$ ) pelo armazenamento, confirmando que as variações apresentadas nas coordenadas de cor ao longo do tempo não foram relevantes para causar mudanças visuais aparentes na coloração das salsichas. Esse resultado pode ser creditado à ausência de oxigênio na embalagem das salsichas, à temperatura baixa (4 °C) e à ausência de luz ao longo do armazenamento por 30 dias, esses fatores evitaram a degradação do pigmento nitrosohemocromo, responsável pela cor dos produtos cárneos curados cozidos (BREWER, 2004).

**Tabela 17.** Parâmetros de cor instrumental das salsichas

| Parâmetros | Tempo<br>(dias) | Tratamentos          |                     |                      |                       |                      |                       | SEM  |
|------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|------|
|            |                 | FC1                  | FC2                 | F1                   | F2                    | F3                   | F4                    |      |
| L*         | 1               | 60,80 <sup>d1</sup>  | 60,90 <sup>d1</sup> | 63,42 <sup>bc1</sup> | 65,08 <sup>a1</sup>   | 63,00 <sup>c1</sup>  | 64,10 <sup>b1</sup>   | 0,30 |
|            | 15              | 60,68 <sup>d1</sup>  | 60,07 <sup>d1</sup> | 63,39 <sup>c1</sup>  | 65,04 <sup>a1</sup>   | 63,67 <sup>bc1</sup> | 64,51 <sup>ab1</sup>  | 0,37 |
|            | 30              | 61,00 <sup>c1</sup>  | 60,12 <sup>c1</sup> | 63,48 <sup>a1</sup>  | 64,50 <sup>a1</sup>   | 63,57 <sup>a1</sup>  | 63,76 <sup>a1</sup>   | 0,30 |
| a*         | 1               | 10,24 <sup>a1</sup>  | 10,40 <sup>a1</sup> | 9,65 <sup>b2</sup>   | 9,18 <sup>c2</sup>    | 9,85 <sup>b1</sup>   | 9,64 <sup>b1</sup>    | 0,09 |
|            | 15              | 10,45 <sup>a1</sup>  | 10,55 <sup>a1</sup> | 9,61 <sup>bc2</sup>  | 8,91 <sup>d2</sup>    | 9,73 <sup>b1</sup>   | 9,33 <sup>c2</sup>    | 0,12 |
|            | 30              | 10,41 <sup>a1</sup>  | 10,62 <sup>a1</sup> | 10,26 <sup>a1</sup>  | 9,49 <sup>b1</sup>    | 9,57 <sup>b1</sup>   | 9,46 <sup>b12</sup>   | 0,09 |
| b*         | 1               | 13,18 <sup>a12</sup> | 12,53 <sup>c2</sup> | 12,84 <sup>b2</sup>  | 13,11 <sup>a2</sup>   | 12,87 <sup>b1</sup>  | 13,16 <sup>a2</sup>   | 0,05 |
|            | 15              | 13,38 <sup>a1</sup>  | 12,86 <sup>d1</sup> | 13,28 <sup>ab1</sup> | 13,15 <sup>abc2</sup> | 13,02 <sup>cd1</sup> | 13,07 <sup>bcd2</sup> | 0,04 |
|            | 30              | 13,06 <sup>b2</sup>  | 12,53 <sup>c2</sup> | 13,34 <sup>a1</sup>  | 13,39 <sup>a1</sup>   | 12,91 <sup>b1</sup>  | 13,34 <sup>a1</sup>   | 0,06 |
| W          | 1               | 57,39 <sup>c1</sup>  | 57,64 <sup>c1</sup> | 60,04 <sup>b1</sup>  | 61,59 <sup>a1</sup>   | 59,60 <sup>b1</sup>  | 60,56 <sup>b1</sup>   | 0,29 |
|            | 15              | 57,16 <sup>d1</sup>  | 56,74 <sup>d1</sup> | 59,88 <sup>c1</sup>  | 61,60 <sup>a1</sup>   | 60,20 <sup>bc1</sup> | 61,05 <sup>ab1</sup>  | 0,37 |
|            | 30              | 57,58 <sup>c1</sup>  | 56,87 <sup>c1</sup> | 58,88 <sup>b1</sup>  | 60,84 <sup>a1</sup>   | 60,18 <sup>a1</sup>  | 60,24 <sup>a1</sup>   | 0,28 |

FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI. Letras iguais na mesma linha e números iguais na mesma coluna indicam que não há diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos e nos tratamentos ao longo do tempo de armazenamento. SEM: erro padrão da média.

#### 4.3.5. Perfil de textura instrumental

Os parâmetros do perfil instrumental de textura são apresentados na Tabela 18. A redução de toucinho causou diminuição ( $p < 0,05$ ) da dureza e mastigabilidade apenas no tratamento FC2 devido à incorporação de maior teor de água na formulação. Resultados similares, onde a incorporação de água em substituição ao toucinho diminuiu a dureza de salsichas, foram reportados por Paglarini, Martini e Pollonio (2019) e Pintado et al. (2018). A incorporação das EGs não afetou ( $p > 0,05$ ) a dureza e a mastigabilidade das formulações de salsicha se comparado à formulação controle FC1. Esse resultado pode ser considerado

positivo, pois as EGs apresentaram um comportamento físico similar ao toucinho na promoção da textura, que é influenciada principalmente pelos parâmetros de dureza e mastigabilidade. Além disso, produtos mais duros que a formulação tradicional de referência muitas vezes não são bem aceitos sensorialmente. A elasticidade não foi afetada pelos tratamentos ( $p > 0,05$ ) e, de maneira geral, os valores apresentados para coesividade foram próximos entre as formulações. O tempo de armazenamento de 30 dias não afetou ( $p > 0,05$ ) os parâmetros de dureza, mastigabilidade e elasticidade. A coesividade aumentou ( $p < 0,05$ ) do 1º para o 15º dia de armazenamento entre todos os tratamentos e se manteve estável até o final do armazenamento.

**Tabela 18.** Perfil de textura instrumental das salsichas

| Parâmetros             | Tempo<br>(dias) | Tratamentos         |                    |                     |                     |                     |                     | SEM    |
|------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
|                        |                 | FC1                 | FC2                | F1                  | F2                  | F3                  | F4                  |        |
| Dureza (N)             | 1               | 11,41 <sup>a1</sup> | 7,99 <sup>b1</sup> | 12,18 <sup>a1</sup> | 12,70 <sup>a1</sup> | 11,94 <sup>a1</sup> | 13,44 <sup>a1</sup> | 0,275  |
|                        | 15              | 11,46 <sup>a1</sup> | 7,28 <sup>b1</sup> | 11,15 <sup>a1</sup> | 11,78 <sup>a1</sup> | 12,79 <sup>a1</sup> | 13,01 <sup>a1</sup> | 0,355  |
|                        | 30              | 11,41 <sup>a1</sup> | 8,58 <sup>b1</sup> | 11,25 <sup>a1</sup> | 11,55 <sup>a1</sup> | 11,26 <sup>a1</sup> | 11,15 <sup>a2</sup> | 0,212  |
| Elasticidade<br>(mm)   | 1               | 0,89                | 0,90               | 0,90                | 0,90                | 0,89                | 0,91                | < 0,01 |
|                        | 15              | 0,89                | 0,92               | 0,91                | 0,91                | 0,90                | 0,92                | < 0,01 |
|                        | 30              | 0,92                | 0,91               | 0,91                | 0,91                | 0,91                | 0,91                | < 0,01 |
| Coesividade            | 1               | 0,81 <sup>b2</sup>  | 0,82 <sup>a2</sup> | 0,81 <sup>b3</sup>  | 0,81 <sup>b2</sup>  | 0,82 <sup>a2</sup>  | 0,82 <sup>a2</sup>  | < 0,01 |
|                        | 15              | 0,85 <sup>a1</sup>  | 0,86 <sup>a1</sup> | 0,84 <sup>ab1</sup> | 0,83 <sup>b1</sup>  | 0,84 <sup>ab1</sup> | 0,84 <sup>ab1</sup> | < 0,01 |
|                        | 30              | 0,85 <sup>a1</sup>  | 0,85 <sup>a1</sup> | 0,83 <sup>b2</sup>  | 0,84 <sup>ab1</sup> | 0,84 <sup>ab1</sup> | 0,83 <sup>b1</sup>  | < 0,01 |
| Mastigabilidade<br>(N) | 1               | 8,22 <sup>b1</sup>  | 5,87 <sup>c1</sup> | 8,89 <sup>ab1</sup> | 9,26 <sup>ab1</sup> | 8,71 <sup>ab1</sup> | 9,94 <sup>a1</sup>  | 0,209  |
|                        | 15              | 8,69 <sup>a1</sup>  | 5,76 <sup>b1</sup> | 8,54 <sup>a1</sup>  | 8,88 <sup>a1</sup>  | 9,67 <sup>a1</sup>  | 10,0 <sup>a1</sup>  | 0,267  |
|                        | 30              | 8,97 <sup>a1</sup>  | 6,70 <sup>b1</sup> | 8,46 <sup>a1</sup>  | 9,22 <sup>a1</sup>  | 8,62 <sup>a1</sup>  | 8,40 <sup>a2</sup>  | 0,181  |

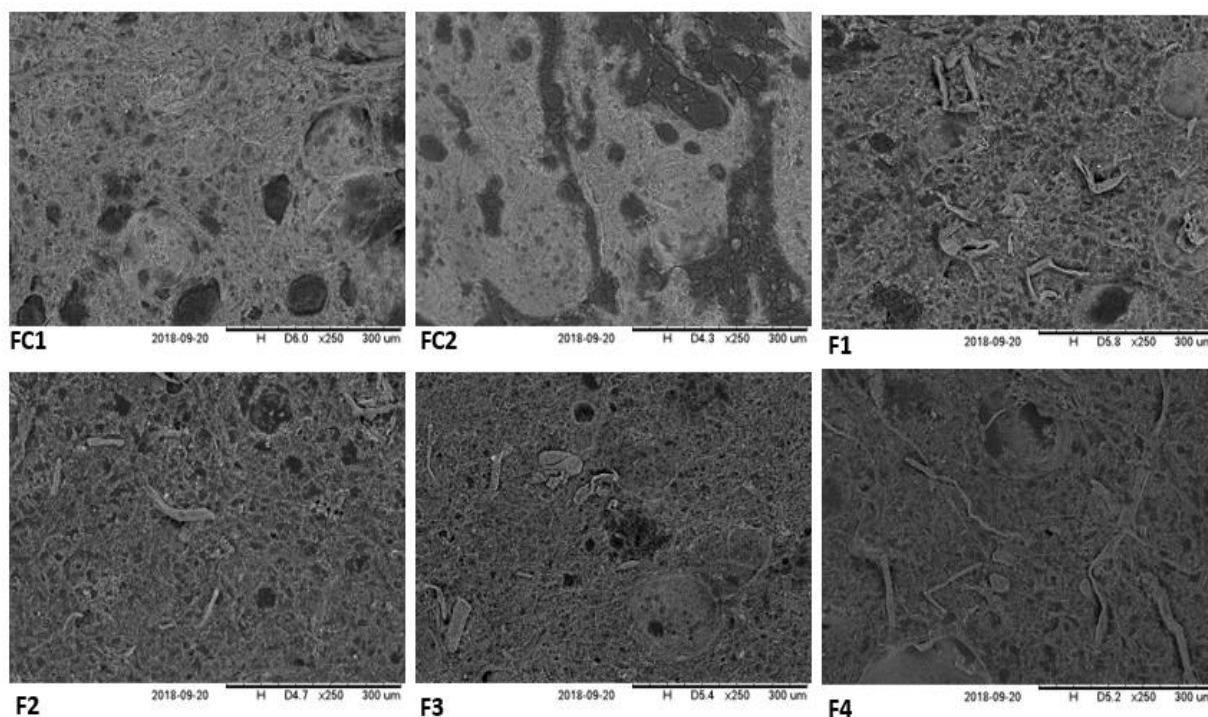
FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI. Letras iguais na mesma linha e números iguais na mesma coluna indicam que não há diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos e nos tratamentos ao longo do tempo de armazenamento. SEM: erro padrão da média.

#### 4.3.6. Microestrutura

A microestrutura das salsichas é apresentada na Figura 8. Os tratamentos FC1 e FC2 que continham apenas toucinho apresentaram topografia similar, com menos poros evidentes, todavia, menos homogênea, o que foi evidenciado pela presença de áreas escuras espalhadas pela área clara contínua. Essa observação foi mais evidente no tratamento FC2, o que pode ser resultado da formação de canais formados pela água não retida na rede gelificada devido ao alto teor de umidade dessa formulação. Esse resultado foi corroborado pela diminuição da estabilidade da emulsão e dos parâmetros de textura instrumental verificados no tratamento FC2. As salsichas contendo as EGs (F1, F2, F3 e F4) apresentaram topografias similares, caracterizadas pela formação de uma rede gelificada mais homogênea e densa, na qual, as cadeias de celulose da fibra de bambu encontravam-se retidas e distribuídas na rede gelificada. Resultado semelhante foi observado por Magalhães (2017) nas micrografias de mortadelas incorporadas de fibra de bambu.

Zhuang et al. (2018) avaliaram o mecanismo de atuação de fibra alimentar insolúvel na rede de gel formada por proteínas miofibrilares. De acordo com autores, as fibras insolúveis se encontram fisicamente retidas na rede de gel e não participam da sua formação, o que foi observado nas micrografias das salsichas apresentadas neste trabalho. No entanto, quando presentes, elas aumentam a capacidade de retenção de água da matriz gelificada porque absorvem a água perdida durante a cocção devido à desnaturação proteica, com isso, há a diminuição da formação de canais de água que desestabilizam a matriz formada pelas proteínas miofibrilares.

As microestruturas das salsichas contendo as EGs mostraram uma topografia mais homogênea e densa, sendo que essas características foram mais evidentes no tratamento F4, que continha o maior teor de fibras (3,93 %). Esse tratamento apresentou o maior valor de estabilidade da emulsão dentre os tratamentos contendo as EGs (Tabela 14).



**Figura 8.** Microestrutura das salsichas com aumento de 250x. FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI.

#### 4.3.7. Avaliação sensorial

Os resultados referentes aos atributos sensoriais do teste de aceitação são apresentados na Tabela 19. Os tratamentos F1 e F3 contendo 50 % das EGs em substituição a gordura não diferiram ( $p < 0,05$ ) do tratamento controle FC1 em nenhum dos atributos sensoriais. O tratamento F2 que continha apenas a EG-FB diferiu do tratamento controle apenas em relação à cor, que obteve uma nota inferior, mostrando que a variação apresentada nos parâmetros de luminosidade, índice do vermelho e índice de brancura foram perceptíveis pelos consumidores. No tratamento F4, o toucinho foi substituído totalmente pela EG-FBI e, portanto, apresentava o maior teor de fibras, 3,93 %, isso possivelmente contribuiu para uma aceitação sensorial inferior ( $p < 0,05$ ) ao tratamento FC1 em relação aos atributos de sabor, cor e aroma, mas que não afetou ( $p > 0,05$ ) os parâmetros de textura e aceitação global. Resultado semelhante foi relatado por Alves et al. (2016), que reportaram menor aceitação de formulações de mortadela Bologna com substituição superior a 80 % de toucinho pelo gel de pele suína e farinha de banana verde e por

Faria et al. (2015) que relataram menor aceitação de mortadelas incorporadas de gel de pele suína e celulose amorfa com o aumento do teor de fibra na formulação. Choe et al. (2013), por outro lado, não reportou perda sensorial de salsichas Frankfurt incorporadas com até 20 % de gel de pele suína e fibra de trigo. Paglarini, Martini e Pollonio (2019) e Pintado et al. (2018) reportaram redução da aceitação sensorial de salsichas contendo EGs, possivelmente creditada à presença de fibras ou ingredientes ricos em fibras incorporados no produto através desses sistemas. O tratamento FC2 foi o menos ( $p < 0,05$ ) aceito em relação à textura devido ao maior teor de água presente nessa formulação. A aceitação sensorial em relação à textura está em concordância com os parâmetros de dureza e mastigabilidade que não diferiram entre os tratamentos contendo as EGs e o tratamento controle FC1 e foram menores no tratamento FC2.

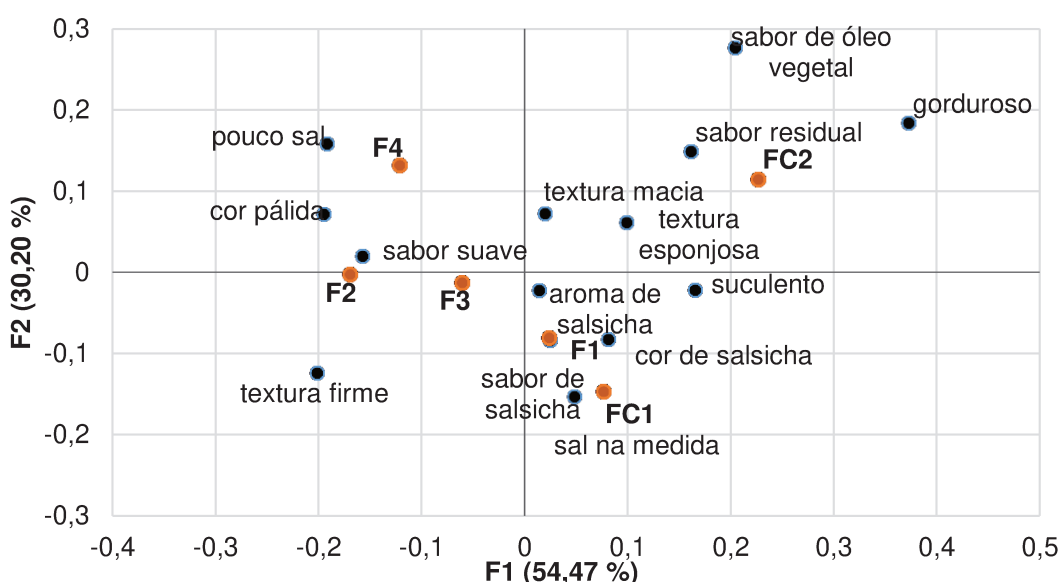
**Tabela 19.** Aceitação sensorial das salsichas

| Atributos        | Tratamentos       |                    |                    |                    |                    |                   | SEM   |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------|
|                  | FC1               | FC2                | F1                 | F2                 | F3                 | F4                |       |
| Aroma            | 7,25 <sup>a</sup> | 7,18 <sup>a</sup>  | 7,14 <sup>a</sup>  | 7,28 <sup>a</sup>  | 7,10 <sup>a</sup>  | 6,89 <sup>b</sup> | 0,028 |
| Cor              | 7,01 <sup>a</sup> | 6,54 <sup>ab</sup> | 6,42 <sup>ab</sup> | 6,09 <sup>b</sup>  | 6,59 <sup>ab</sup> | 6,18 <sup>b</sup> | 0,026 |
| Sabor            | 7,23 <sup>a</sup> | 6,66 <sup>ab</sup> | 6,75 <sup>ab</sup> | 6,71 <sup>ab</sup> | 6,77 <sup>ab</sup> | 6,33 <sup>b</sup> | 0,027 |
| Textura          | 6,95 <sup>a</sup> | 6,35 <sup>b</sup>  | 6,86 <sup>a</sup>  | 6,88 <sup>a</sup>  | 6,79 <sup>a</sup>  | 6,73 <sup>a</sup> | 0,028 |
| Aceitação global | 7,01              | 6,60               | 6,85               | 6,68               | 6,82               | 6,39              | 0,026 |

FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI. Letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa ( $p > 0,05$ ) no teste de média de Tukey. SEM: erro padrão da média.

Em relação ao teste CATA (Figura 9), o primeiro e segundo componentes explicaram 84,67 % das variações apresentadas e, portanto, foram considerados suficientes para indicar as relações entre os atributos sensoriais e as diferentes formulações de salsicha. Foi observado que os tratamentos controle FC1 e F1 foram relacionados a atributos positivos, como sabor, aroma e cor de salsicha, suculência e sal na medida. O tratamento F1 continha 50 % de substituição do toucinho pela

EG-FB, com isso o teor de fibras desse tratamento (1 %) foi o menor dentre os tratamentos contendo as EGs e, portanto, apresentou maior similaridade em relação à formulação tradicional. Os tratamentos F2 e F3, que continham a incorporação das EGs, foram relacionados com o atributo textura firme, possivelmente devido à atuação das fibras na matriz cárnea, apesar desse resultado não ter sido observado na análise instrumental de textura (Tabela 18). O tratamento F4 obteve uma correlação maior com os atributos pouco sal, sabor suave e coloração pálida. O sabor suave possivelmente deve estar relacionado à menor percepção do gosto salgado. As fibras podem mascarar o sabor dos alimentos, esse efeito foi perceptível no tratamento F4 que continha 3,93 % de fibra e a mesma quantidade de sal, 1,5 %, que os demais tratamentos. Resultado semelhante foi reportado por Mendoza et al. (2001) e Faria et al. (2015). A coloração pálida relacionada ao tratamento F4 é resultado do aumento do índice de brancura apresentados pelas formulações contendo as EGs. O tratamento FC2 foi relacionado aos atributos gorduroso, sabor de óleo vegetal, sabor residual, textura macia e textura esponjosa, sugerindo que a substituição do toucinho unicamente por água não é uma estratégia adequada no aspecto sensorial. Essa observação foi corroborada por Zhuang et al. (2018).



**Figura 9.** Teste ckeck all that aply (CATA) das formulações de salsicha. Pontos em azul indicam os atributos e os pontos laranja indicam as diferentes formulações de salsicha: FC1 e FC2: formulações controle; F1 e F2: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão EG-FB; F3 e F4: formulações contendo 10 % e 20 % da emulsão gel EG-FBI.

#### 4.4. DISCUSSÃO GERAL

O presente trabalho avaliou o uso da pele suína e de fibras alimentares (polidextrose, inulina,  $\alpha$ -ciclodextrina e fibra de bambu) na elaboração de EGs à base de óleo de canola destinadas à substituição do toucinho em produtos cárneos emulsionados.

Na Etapa 1 (Elaboração de gel de pele suína para estruturação de emulsões visando à aplicação em produtos cárneos emulsionados) foi avaliado o efeito da concentração de ácido cítrico na solução de cocção e do tempo de tratamento térmico da pele suína por meio de um delineamento fatorial visando obter um GPS com propriedades adequadas à aplicação em produtos cárneos. Dentre as condições avaliadas no tratamento da pele suína, verificou-se que a melhor condição para o desenvolvimento do GPS foi a cocção da pele suína sob pressão por 20 minutos em solução de ácido cítrico na concentração de 0,015 M. Nessas condições, o rendimento da pele suína na cocção foi superior a 90 % e o GPS obtido apresentou valor de pH de 5,39, indicando uma acidez moderada, e uma redução de quase 50 % na dureza do gel se comparado ao tratamento controle, o que melhorou a sua dispersão na emulsão cárnea. Somado a isso, a substituição de 20 % da carne magra pelo GPS na emulsão cárnea modelo conferiu alta estabilidade da emulsão e valor de pH dentro da faixa comumente reportada para produtos cárneos emulsionados, como salsicha e mortadela. Portanto, concluiu-se que o tratamento térmico da pele suína em solução ácida diluída é uma alternativa para a elaboração de GPS com propriedades extensoras adequadas para aplicação em produtos cárneos emulsionados.

Na Etapa 2 (Elaboração de emulsões géis à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares para aplicação em produtos cárneos emulsionados) o GPS foi empregado para a obtenção de EGs contendo 50 % de óleo de canola. No intuito de aumentar a estabilidade térmica das EGs, foi avaliado o efeito da incorporação de quatro fibras alimentares (polidextrose,  $\alpha$ -ciclodextrina, fibra de bambu e inulina). A adição das fibras aumentou a estabilidade das EGs, todavia, a fibra de bambu e a  $\alpha$ -ciclodextrina apresentaram os efeitos mais significativos. A tensão de ruptura aumentou com a adição da fibra de bambu e da inulina e a deformação de ruptura diminuiu com o uso da  $\alpha$ -ciclodextrina, mostrando que as

EGs se tornaram mais quebradiças com a incorporação dessa fibra. A incorporação das EGs nos sistemas modelos de emulsão cárnea elaborados com pernil suíno ou CMSF resultaram em efeitos similares aqueles observados pela incorporação do toucinho. E nas emulsões cárneas formuladas com CMSF foi observado aumento da estabilidade da emulsão e melhoria da textura com a adição das EGs contendo fibra de bambu. Esses resultados indicaram que as EGs são ingredientes promissores para desenvolver produtos cárneos emulsionados mais saudáveis, levando em consideração a melhoria do perfil lipídico conferida pelo óleo de canola e pela incorporação de fibras alimentares, principalmente aqueles formulados com CMSF.

Na Etapa 3 (Substituição do toucinho por emulsões géis à base de pele suína, óleo de canola e fibras alimentares em salsichas com alto teor de carne de carne mecanicamente separada) duas formulações de EGs selecionadas na etapa anterior foram empregadas na substituição do toucinho (50 % e 100 %) em salsichas com alto teor de CMSF. Os resultados mostraram que a incorporação das EGs nas salsichas diminuiu em até 76,9 % a concentração de ácidos graxos saturados com aumento significativo do teor de ácidos graxos poli-insaturados, além do fornecimento de 1 % a 3,93 % de fibras alimentares. As salsichas reformuladas apresentaram estabilidade da emulsão e pH similares ao tratamento controle. Na maioria dos tratamentos, o perfil de textura e a suculência instrumental não foram afetados pela incorporação das EGs. A oxidação lipídica se manteve baixa ao longo da vida de prateleira para todos os tratamentos. Por fim, o tratamento F4, que continha o maior teor de fibras (3,93 %), teve menor aceitação sensorial que o tratamento controle em relação ao sabor e a cor. Os demais tratamentos não diferiram do tratamento controle em relação à aceitação sensorial dos atributos sabor, aroma, textura e impressão global.

## 5. CONCLUSÃO

Diante da necessidade de elaborar produtos cárneos mais saudáveis e, considerando o amplo consumo de produtos cárneos populares no Brasil, o presente trabalho teve por objetivo estudar estratégias para a reformulação lipídica de produtos cárneos emulsionados elaborados com alto teor CMSF.

A pele suína, um subproduto da indústria cárnea, devido à sua capacidade emulsionante e gelificante pode ser usada para o desenvolvimento de EGs destinadas à substituição do toucinho em produtos cárneos emulsionados. A adição das fibras alimentares nas EGs à base de GPS aumentou a sua estabilidade, sendo esse efeito mais pronunciado com o uso da fibra de bambu. A fibra de bambu e a inulina aumentaram a força de ruptura das EGs e a  $\alpha$ -ciclodextrina tornou-as mais quebradiças. O efeito das fibras alimentares no pH e na cor das EGs não foi considerado um obstáculo tecnológico à sua incorporação em produtos cárneos.

A substituição do toucinho pelas EGs promoveu melhoria nutricional significativa nas salsichas à base de CMSF, evidenciada pela diminuição do teor de ácidos graxos saturados, diminuição da relação  $\omega 6/\omega 3$  e aumento do teor de ácidos graxos poli-insaturados e pela incorporação de fibras alimentares em concentrações capazes de estimular o seu consumo na dieta. A substituição de até 50 % do toucinho pelas EGs nas salsichas reformuladas resultou em propriedades físico-químicas muito similares àsquelas observadas na formulação tradicional e sem diferença significativa na avaliação sensorial. Dessa forma, as EGs elaboradas neste trabalho são ingredientes promissores para substituir o toucinho em produtos cárneos emulsionados sob uma perspectiva mais saudável e sustentável.

## 6. REFERÊNCIAS

- AACC - American Association of Cereal Chemists. The definition of dietary fiber. *Cereal Food Word*, v. 46, p.112-126, 2000.
- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório Anual 2018. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018
- ACTON, J. C.; ZIEGLER, G. R.; BURGE, D. L. Functionality of muscle constituents in the processing of comminuted meat products. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 18, n. 2, p. 99–121, 1982.
- ALAEI, F.; HOJJATOLESLAMY, M.; DEHKORDI, S. M. H. The effect of inulin as a fat substitute on the physicochemical and sensory properties of chicken sausages. **Food Science and Nutrition**, v. 6, n. 2, p. 512–519, 2018.
- ALLAIS, I. Emulsification. In: TOLDRÁ, F. (ed.). **Handbook of Meat Processing**. Blackwell Publishing, 2010.
- ÁLVAREZ, D. et al. Efecto de la composición y el tiempo de procesado sobre las propiedades tecnológicas y ópticas de las emulsiones cárnicas. **Anales de Veterinaria de Murcia**, v. 23, n. 0213-5434, p. 25–34, 2007.
- ÁLVAREZ, D.; BARBUT, S. Effect of inulin,  $\beta$ -Glucan and their mixtures on emulsion stability, color and textural parameters of cooked meat batters. **Meat Science**, v. 94, n. 3, p. 320–327, 2013.
- ALVES, L. A. A. DOS S. et al. Production of healthier bologna type sausages using pork skin and green banana flour as a fat replacers. **Meat Science**, v. 121, p. 73–78, 2016.
- ANVISA. Saúde anuncia dados da hipertensão no País — **Portal Brasil**. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2011/04/saude-anuncia-dados-da-hipertensao-no-pais>>. Acesso em: 17 dez. 2018.
- AOAC - Official methods of analysis of AOAC International. Gaithersburg, Md: AOAC International, 2005.
- AOCS – American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society, AOCS Press: Champaign, 2009.
- ARES, G. et al. Application of a check-all-that-apply question to the development of chocolate milk desserts. *Journal of Sensory Studies*, v. 25, p. 67-86, 2010.
- ASTRAY, G. et al. A review on the use of cyclodextrins in foods. **Food Hydrocolloids**, v.

23, n. 7, p. 1631–1640, 2009.

- BAI, L.; HUAN, S.; LI, Z.; McCLEMENTS, D. J. Comparison of emulsifying properties of food-grade polysaccharides in oil-in-water emulsions: Gum arabic, beet pectin, and corn fiber gum. **Food Hydrocolloids**, v. 66, p. 144–153, 2017.
- BARBUT, S. Reducing fats in processed meat products. [s.l.] **Woodhead Publishing Limited**, 2011.
- BARBUT, S.; WOOD, J.; MARANGONI, A. Potential use of organogels to replace animal fat in comminuted meat products. **Meat Science**, v. 122, p. 155–162, 2016.
- BARBUT, S.; YOUSSEF, M. K. Effect of Gradual Heating and Fat/Oil Type on Fat Stability, Texture, Color, and Microstructure of Meat Batters. **Journal of food science**, v. 81, n. 9, p. C2199–C2205, 2016.
- BARCELÓ-COBLIJN, G.; MURPHY, E. J. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: Benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. **Progress in Lipid Research**, v. 48, n. 6, p. 355–374, 2009.
- BAYARRI, S. et al. Influence of texture on the temporal perception of sweetness of gelled systems. **Food Research International**, v. 40, n. 7, p. 900–908, 2007.
- BENELLI, J., TONIAZZO, G., PRESTES, R. C., TRES, M. V. Development and utilization of pork skin emulsion in mortadella as a soy protein substitute. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 5, p. 2126–2132, 2015.
- BENICHO, A.; ASERIN, A.; GARTI, N. Protein-polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 23, n. 1–3, p. 93–123, 2002.
- BERNARDI, D. M. et al.  $\omega$ -3 in meat products: Benefits and effects on lipid oxidative stability. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 8, p. 2620–2634, 2016.
- BISWAS, A. K. et al. Dietary fibers as functional ingredients in meat products and their role in human health. **International Journal of Livestock Production**, v. 2, n. 4, p. 45–54, 2011.
- BLIGH, E.G.; DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v.37, p.911-914, 1959.
- BLOUKAS, J. G.; PANERAS, E. D. Vegetable Oils Replace Pork Backfat for Low-Fat Frankfurters. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 4, p. 725–728, 1994.

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 4, de 31 de março de 2000. Aprova Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha, em conformidade com os Anexos desta Instrução Normativa. *Diário Oficial da União, de 05 de abril de 2000*. Brasília, 2000.
- BRASIL. Resolução RDC nº 54 de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar, Vol. 2012. Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
- BREWER, S. Irradiation effects on meat color - A review. **Meat Science**, v. 68, n. 1, p. 1–17, 2004.
- BRUNA, J. M. et al. Microbial and physico-chemical changes during the ripening of dry fermented sausages superficially inoculated with or having added an intracellular cell-free extract of *Penicillium aurantiogriseum*. **Meat Science**, v. 59, n. 1, p. 87–96, 2001.
- BUCKLEY, J. D. et al. Alpha-Cyclodextrin. In: CHO, S. S., SAMUEL, P. (Ed.). . **Fiber Ingredients : Food Applications and Health Benefits**. [s.l: s.n.]. p. 516.
- CALDER, P. C. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. **Biochimica et Biophysica Acta - Molecular and Cell Biology of Lipids**, v. 1851, n. 4, p. 469–484, 2015.
- CÂMARA, A. K. I. R.; POLLONIO, M. A. R. Pre-Emulsified Linseed Oil : Technological and Sensory Properties. **Journal of Food Quality** v. 38, p. 201–212, 2015.
- CANDOGAN, K.; KOLSARICI, N. Storage stability of low-fat beef frankfurters formulated with carrageenan or carrageenan with pectin. **Meat Science**, v. 64, n. 2, p. 207–214, 2003.
- CHANT, J. L. et al. Composition and palatability of mechanically deboned meat and mechanically separated tissue. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 2, p. 306–309, 1977.
- CHOE, J. et al. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacers. **MESC**, v. 93, n. 4, p. 849–854, 2013.
- CHONGTHAM, N.; BISHT, M. S.; HAORONGBAM, S. Nutritional Properties of Bamboo Shoots: Potential and Prospects for Utilization as a Health Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 3, p. 153–168, 2011.
- CLIFTON, P. M.; KEOGH, J. B. A systematic review of the effect of dietary saturated and

- polyunsaturated fat on heart disease. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 27, n. 12, p. 1060–1080, 2017.
- CORRAL, S. et al. Effect of fat and salt reduction on the sensory quality of slow fermented sausages inoculated with *Debaryomyces hansenii* yeast. **Food Control**, v. 45, p. 1–7, 2014.
- CUNHA, C. R. Efeito do uso de retentados de baixo fator de concentração no rendimento, proteólise e propriedades viscoelásticas de queijo minas frescal de reduzido teor de gordura. 2002. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- DAROS, F. G.; MASSON, M. L.; AMICO, S. C. The influence of the addition of mechanically deboned poultry meat on the rheological properties of sausage. **Journal of Food Engineering**, v. 68, n. 2, p. 185–189, 2005.
- DAS, A. et al. Effect of fermented bamboo shoot on the quality and shelf life of nuggets prepared from desi spent hen. **Veterinary World**, v. 6, n. 7, p. 419–423, 2013.
- DAS, U. N. Beneficial effect(s) of n-3 fatty acids in cardiovascular diseases: But, why and how? **Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 63, n. 6, p. 351–362, 2000.
- DELGADO-PANDO, G. et al. Healthier lipid combination oil-in-water emulsions prepared with various protein systems: An approach for development of functional meat products. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 112, n. 7, p. 791–801, 2010.
- DELGADO-PANDO, G. et al. Low-fat frankfurters formulated with a healthier lipid combination as functional ingredient: Microstructure, lipid oxidation, nitrite content, microbiological changes and biogenic amine formation. **Meat Science**, v. 89, n. 1, p. 65–71, 2011.
- DICKINSON, E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1473–1482, 2009.
- DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. **Food Hydrocolloids**, v. 17, p. 25, 2003.
- DICKINSON, E. Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 1, p. 224–241, 2012.
- DICKINSON, E. Stabilising emulsion-based colloidal structures with mixed food ingredients. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 4, p. 710–

721, 2013.

DO CARMO, M. M. R. et al. Polydextrose: Physiological function, and effects on health. **Nutrients**, v. 8, n. 9, p. 1–13, 2016.

DUCHÊNE, D. et al. Cyclodextrins and emulsions. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 266, n. 1–2, p. 85–90, 2003.

ECKEL, R. H. et al. Reprint: 2013 AHA/ACC Guideline on Lifestyle Management to Reduce Cardiovascular Risk. **Journal of the American Pharmacists Association : JAPhA**, v. 54, n. 1, p. e2, 2014.

ELLEUCH, M. et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. **Food Chemistry**, v. 124, n. 2, p. 411–421, 2011.

EVANS, M.; RATCLIFFE, I.; WILLIAMS, P. A. Emulsion stabilisation using polysaccharide-protein complexes. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 18, n. 4, p. 272–282, 2013.

FARIA, M. O. et al. Properties of bologna-type sausages with pork back-fat replaced with pork skin and amorphous cellulose. **Meat Science**, v. 104, p. 44–51, 2015.

FELISBERTO, M. H. F. et al. Effect of prebiotic ingredients on the rheological properties and microstructure of reduced-sodium and low-fat meat emulsions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 1, p. 148–155, 2015.

FELISBERTO, M. H. F. et al. Young bamboo culm: Potential food as source of fiber and starch. **Food Research International**, v. 101, n. August, p. 96–102, 2017.

FELIX, M.; ROMERO, A.; GUERRERO, A. Viscoelastic properties, microstructure and stability of high-oleic O/W emulsions stabilised by crayfish protein concentrate and xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v. 64, p. 9–17, 2017.

FERNÁNDEZ-GINÉS, J. M. et al. Meat Products as Functional Foods: A Review. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 2, 2005.

FIELD, R.A. Mechanically separated meat, poultry and fish. In: PEARSON, A.M.; DUTSON, T.R. (Ed.) **Edible meat by-products**. New York: Elsevier Applied Science, 1988. p.83-128.

FRANCK, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**, v. 87, n. S2, p. S287, 2002.

FREIRE, M. et al. Double emulsions to improve frankfurter lipid content: Impact of perilla oil and pork backfat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 3,

p. 900–908, 2016.

FUENTES-ZARAGOZA, E. et al. Resistant starch as functional ingredient: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 4, p. 931–942, 2010.

GE, S. et al. Enhanced mechanical properties and gelling ability of gelatin hydrogels reinforced with chitin whiskers. **Food Hydrocolloids**, v. 75, p. 1–12, 2018.

GIRARD, J. P. Tecnología de la Carne y de los Productos Cárnicos. **Zaragoza: Acribia**; 1991.

GLIBOWSKI, P. Effect of thermal and mechanical factors on rheological properties of high performance inulin gels and spreads. **Journal of Food Engineering**, v. 99, n. 1, p. 106–113, 2010.

GLISIC, M. et al. Original article Inulin-based emulsion-filled gel as a fat replacer in prebiotic- and PUFA-enriched dry fermented sausages. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 2017, p. 1–11, 2018.

GLLIBOWSKI, P.; BUKOWSKA, A. The effect of pH, temperature and heating time on inulin chemical stability. **Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.**, v. 10, n. 2, p. 189–196, 2011.

GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 8, p. 1813–1827, 2011.

GORDON, A., BARBUT, S., SCHMIDT, G. Mechanisms of Meat Batter Stabilization: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 4, p. 299–332, 1992.

HAN, M.; BERTRAM, H. C. Designing healthier comminuted meat products: Effect of dietary fibers on water distribution and texture of a fat-reduced meat model system. **Meat Science**, v. 133, n. July, p. 159–165, 2017.

HARTMAN, L.; LAGO, R. C. A. Rapid preparation of fatty acids methyl esters. *Laboratory Practice*, v.22, p.475-476, 1973.

HATTREM, M. N. et al. Interfacial and rheological properties of gelatin based solid emulsions prepared with acid or alkali pretreated gelatins. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 700–707, 2015.

HAUG, I. J.; DRAGET, K. I.; SMIDSRØD, O. Physical and rheological properties of fish gelatin compared to mammalian gelatin. **Food Hydrocolloids**, v. 18, n. 2, p. 203–213, 2004.

- HERRERO, A. M. et al. Infrared spectroscopy used to determine effects of chia and olive oil incorporation strategies on lipid structure of reduced-fat frankfurters. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1333–1339, 2017.
- HU, H. Y. et al. Effects of regenerated cellulose on oil-in-water emulsions stabilized by sodium caseinate. **Food Hydrocolloids**, v. 52, p. 38–46, 2016.
- HUANG, S. C.; TSAI, Y. F.; CHEN, C. M. Effects of wheat fiber, oat fiber, and inulin on sensory and physico-chemical properties of Chinese-style sausages. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 24, n. 6, p. 875–880, 2011.
- HUBER, E. et al. Characterization of vegetable fiber and its use in chicken burger formulation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 7, p. 3043–3052, 2016.
- HUDA, H.; LENG, O. H.; NOPIANTI, R. Cryoprotective effects of different levels of polydextrose threadfin bream surimi during frozen storage. **Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 6, n. 4, p. 404–416, 2011.
- HUGHES, E.; COFRADES, S.; TROY, D. J. Effects of fat level, oat fibre and carrageenan on frankfurters formulated with 5, 12 and 30% fat. **Meat Science**, v. 45, n. 3, p. 273–281, 1997.
- ISHIWATARI, N.; FUKUOKA, M.; SAKAI, N. Effect of protein denaturation degree on texture and water state of cooked meat. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 3, p. 361–369, 2013.
- IXTAINA, V. Y.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Oxidative stability of chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil: Effect of antioxidants and storage conditions. **JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 89, n. 6, p. 1077–1090, 2012.
- JAKOBSEN, M. U. et al. Major types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a pooled analysis of 11 cohort studies. **Am J Clin Nutr**, v. 89, p. 1425–32, 2009.
- JIA, X. et al. Stabilizing oil-in-water emulsion with amorphous cellulose. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 275–282, 2015.
- JIANG, Y. et al. Cellulose-rich oleogels prepared with an emulsion-templated approach. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 460–464, 2018.
- JIMÉNEZ-COLMENERO, F. et al. Novel applications of oil-structuring methods as a strategy to improve the fat content of meat products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 44, n. 2, p. 177–188, 2015.
- JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Healthier lipid formulation approaches in meat-based

- functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. **Trends in Food Science and Technology**, v. 18, n. 11, p. 567–578, 2007.
- JIMÉNEZ-COLMENERO, F. Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, p. 56–66, 2000.
- KEENAN, D. F. et al. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach. **Meat Science**, v. 96, n. 3, p. 1384–1394, 2014.
- KRIS-ETHERTON, P. M.; FLEMING, J. A. Emerging Nutrition Science on Fatty Acids and Cardiovascular Disease: Nutritionists' Perspectives. **Advances in Nutrition: An International Review Journal**, v. 6, n. 3, p. 326S–337S, 2015.
- LADWIG, K. M.; KNIPE, C. L.; SEBRANEK, J. G. Effects of Collagen and Alkaline Phosphate on Time of Chopping, Emulsion Stability and Protein Solubility of Fine-Cut Meat Systems. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 3, p. 541–544, 1989.
- LATTIMER, J. M.; HAUB, M. D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. **Nutrients**, v. 2, n. 12, p. 1266–1289, 2010.
- LECLERCQ, L.; NARDELLO-RATAJ, V. Pickering emulsions based on cyclodextrins: A smart solution for antifungal azole derivatives topical delivery. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 82, p. 126–137, 2016.
- LEE, C. M.; CARROLL, R. J.; ABDOLLAHI, A. A Microscopical Study of the Structure of Meat Emulsions and Its Relationship to Thermal Stability. **Journal of Food Science**, v. 46, n. 6, p. 1789–1793, 1981.
- LEHNINGER, A. L. *Princípios de bioquímica*. 2. ed. São Paulo (SP): **Sarvier**; 1995.
- LI, Y. et al. Saturated Fats Compared with Unsaturated Fats and Sources of Carbohydrates in Relation to Risk of Coronary Heart Disease A Prospective Cohort Study. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 66, n. 14, p. 1538–1548, 2015.
- LI, Y. et al. of Carbohydrates in Relation to Risk of Coronary Heart Disease : **J Am Coll Cardiol**, v. 66, n. 14, p. 1538–48, 2016.
- LI, Z. et al. Alpha-cyclodextrin: Enzymatic production and food applications. **Trends in Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 151–160, 2014.
- LIU, D. et al. Extraction and characterisation of pepsin-solubilised collagen from fins, scales, skins, bones and swim bladders of bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*). **Food Chemistry**, v. 133, n. 4, p. 1441–1448, 2012a.

- LIU, L. et al. Sodium caseinate/carboxymethylcellulose interactions at oil-water interface: Relationship to emulsion stability. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1822–1829, 2012b.
- LOHMAN, M. H.; HARTEL, R. W. Effect of milk fat fractions on fat bloom in dark chocolate. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 71, n. 3, p. 267–276, 1994.
- LÓPEZ-CASTEJÓN, M. L. et al. Characterization of prebiotic emulsions stabilized by inulin and  $\beta$ -lactoglobulin. **Food Hydrocolloids**, v. 87, n. May 2018, p. 382–393, 2019.
- LUCHERK, L. W. et al. Assessment of objective measures of beef steak juiciness and their relationships to sensory panel juiciness ratings. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 6, p. 2421–2437, 2017.
- MAGALHÃES, I. M. C. Efeito da adição de extensores à base de fibras sobre as propriedades físico-químicas e sensoriais de mortadelas reduzidas de cloreto de sódio e livres de tripolifosfatos de sódio. Dissertação [s.l.] **Universidade Estadual de Campinas**, 2017.
- MANTZOURIDOU, F.; SPANOU, A.; KIOSSEOGLOU, V. An inulin-based dressing emulsion as a potential probiotic food carrier. **Food Research International**, v. 46, n. 1, p. 260–269, 2012.
- MEHTA, N. et al. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products—a critical review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 633–647, 2013.
- MENDOZA, E. et al. Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. **Meat Science**, v. 57, n. 4, p. 387–393, 2001.
- MENEGAS, L. Z. et al. Dry-fermented chicken sausage produced with inulin and corn oil: Physicochemical, microbiological, and textural characteristics and acceptability during storage. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 501–506, 2013.
- MENSINK, M. A. et al. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. **Carbohydrate Polymers**, v. 130, p. 405–419, 2015.
- MOHAN, C. O.; RAVISHANKAR, C. N.; SRINIVASAGOPAL, T. K. Effect of O<sub>2</sub> scavenger on the shelf-life of catfish (*Pangasius sutchi*) steaks during chilled storage Chitradurga. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, p. 442–448, 2008.

- NETTLETON, J. A. et al. Saturated Fat Consumption and Risk of Coronary Heart Disease and Ischemic Stroke: A Science Update. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v. 70, n. 1, p. 26–33, 2017.
- NICOLETTI TELIS, V. R. O/W Emulsions Stabilized by Interactions Between Proteins and Polysaccharides. **Reference Module in Food Science**, v. 2, p. 494–498, 2018.
- NIETO-NIETO, T. V. et al. Inulin at low concentrations significantly improves the gelling properties of oat protein - A molecular mechanism study. **Food Hydrocolloids**, v. 50, p. 116–127, 2015.
- NOURBEHESHT, N.; SHEKARCHIZADEH, H.; SOLTANIZADEH, N. Investigation of stability, consistency, and oil oxidation of emulsion filled gel prepared by inulin and rice bran oil using ultrasonic radiation. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 42, n. December 2017, p. 585–593, 2018.
- NUSSINOVITCH, A. et al. Recoverable Work Versus Asymptotic Relaxation Modulus in Agar, Carrageenan and Gellan Gels. **Journal of Texture Studies**, v. 21, n. 4, p. 427–438, 1990.
- OMS/WHO. Healthy diet. 2015. Disponível em:  
<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/en/>>. Acesso em: 03. Jan. 2019
- OSBURN, W. N.; MANDIGO, R. W.; ESKRIDGE, K. M. Pork Skin Connective Tissue Gel Utilization in Reduced-Fat Bologna. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 6, p. 1176–1182, 1997.
- PAGLARINI, C. DE S. et al. Functional emulsion gels with potential application in meat products. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p. 29–37, 2018.
- PAGLARINI, C. DE S.; MARTINI, S.; POLLONIO, M. A. R. Using emulsion gels made with sonicated soy protein isolate dispersions to replace fat in frankfurters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 99, p. 453–459, 2019.
- PANAGIOTOPOULOU, E.; MOSCHAKIS, T.; KATSANIDIS, E. Sunflower oil organogels and organogel-in-water emulsions (part II): Implementation in frankfurter sausages. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, p. 351–356, 2016.
- PARK, J. et al. Properties of Low-Fat Frankfurters Containing Monounsaturated and Omega-3 Polyunsaturated Oils. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 3, p. 500–504, 1989.
- PEREIRA, P. A. P. Efeito dos Aditivos nas Propriedades Reológicas e Sensoriais de Goiabadas Funcionais sem Adição de Açúcar. Tese. **Universidade Federal de**

**Lavras**, 2012.

- PEREIRA, A. G. T. et al. Effects of the addition of mechanically deboned poultry meat and collagen fibers on quality characteristics of frankfurter-type sausages. **Meat Science**, v. 89, n. 4, p. 519–525, 2011.
- PEREIRA, P. A. P. et al. Rheological behavior of functional sugar-free guava preserves: Effect of the addition of salts. **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p. 404–412, 2013.
- PETRIDIS, D.; RAIZI, P.; RITZOULIS, C. Influence of citrus fiber, rice bran and collagen on the texture and organoleptic properties of low-fat frankfurters. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 4, p. 1759–1771, 2014.
- PIACENTINI, E. et al. Microencapsulation of oil droplets using cold water fish gelatine/gum arabic complex coacervation by membrane emulsification. **Food Research International**, v. 53, n. 1, p. 362–372, 2013.
- PINHO, E. et al. Cyclodextrins as encapsulation agents for plant bioactive compounds. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, n. 1, p. 121–135, 2014.
- PINTADO, T. et al. Oil-in-water emulsion gels stabilized with chia (*Salvia hispanica* L.) and cold gelling agents: Technological and infrared spectroscopic characterization. **Food Chemistry**, v. 185, p. 470–478, 2015.
- PINTADO, T. et al. Chia and oat emulsion gels as new animal fat replacers and healthy bioactive sources in fresh sausage formulation. **Meat Science**, v. 135, n. July 2017, p. 6–13, 2018a.
- PINTADO, T. et al. Chia and oat emulsion gels as new animal fat replacers and healthy bioactive sources in fresh sausage formulation. **Meat Science**, v. 135, n. August 2017, p. 6–13, 2018b.
- POPPE, J. Gelatin. In: IMENSON, A. (ed.). **Thickening and Gelling Agents for Foods**. Springer Science+Business Media Dordrecht, 1992.
- POYATO, C. et al. Oxidative stability of O/W and W/O/W emulsions: Effect of lipid composition and antioxidant polarity. **Food Research International**, v. 51, n. 1, p. 132–140, 2013.
- POYATO, C. et al. Optimization of a gelled emulsion intended to supply  $\omega$ -3 fatty acids into meat products by means of response surface methodology. **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 615–621, 2014.
- PRESTES, R. C. Colágeno e Seus Derivados : Características e Aplicações em Produtos Cárneos. **UNOPAR Científico. Ciências. Saúde**, v. 15, n. 1, p. 65–74,

2013.

- PRESTES, R. C. et al. Development of low fat chicken mortadella using collagen as a fat substitute. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 4, p. 1651–1657, 2014.
- PÜSSA, T. et al. A study of oxidation products of free polyunsaturated fatty acids in mechanically deboned meat. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, n. 4, p. 307–314, 2009.
- RODRIGUEZ FURLÁN, L. T.; PADILLA, A. P.; CAMPDERRÓS, M. E. Development of reduced fat minced meats using inulin and bovine plasma proteins as fat replacers. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 762–768, 2014.
- RODRIGUEZ PATINO, J. M.; PILOSOFF, A. M. R. Protein-polysaccharide interactions at fluid interfaces. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 8, p. 1925–1937, 2011.
- SALCEDO-SANDOVAL, L. et al. Filled hydrogel particles as a delivery system for n-3 long chain PUFA in low-fat frankfurters: Consequences for product characteristics with special reference to lipid oxidation. **Meat Science**, v. 110, p. 160–168, 2015.
- SANTANA, R. de C.; KAWAZOE SATO, A. C. K.; DA CUNHA, R. L. Emulsions stabilized by heat-treated collagen fibers. **Food Hydrocolloids**, v. 26, n. 1, p. 73–81, 2012.
- SATO, A. C. K.; MORAES, K. E. F. P.; CUNHA, R. L. Development of gelled emulsions with improved oxidative and pH stability. **Food Hydrocolloids**, v. 34, p. 184–192, 2014.
- SCHMIDT, M. M. et al. Development of cooked and smoked chicken sausage with reduced sodium and fat. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 26, n. 1, p. 130–144, 2017.
- SCHMITT, C.; TURGEON, S. L. Protein/polysaccharide complexes and coacervates in food systems. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 167, n. 1–2, p. 63–70, 2011.
- SELANI, M. M. et al. (2016). Pineapple by-product and canola oil as partial fat replacers in low-fat beef burger: Effects on oxidative stability, cholesterol content and fatty acid profile. **Meat Science**, 115, 9-15.
- SERDAROĞLU, M.; NACAĞ, B.; KARABIYIKOĞLU, M. Effects of Beef Fat Replacement with Gelled Emulsion Prepared with Olive Oil on Quality Parameters of Chicken Patties. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 37, n. 3, p. 376–384, 2017.
- SERDAROĞLU, M.; ÖZTÜRK, B.; URGU, M. Emulsion characteristics, chemical and

- textural properties of meat systems produced with double emulsions as beef fat replacers. **Meat Science**, v. 117, p. 187–195, 2016.
- SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 11, p. 4067–4079, 2010.
- SIMOPOULOS, A. P. Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio and Chronic Diseases. **Food Reviews International**, v. 20, n. 1, p. 77–90, 2004.
- SIMOPOULOS, A. P. An increase in the Omega-6/Omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. **Nutrients**, v. 8, n. 3, p. 1–17, 2016.
- SLAVIN, J. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. **Nutrients**, v. 5, n. 4, p. 1417–1435, 2013.
- SOUSA, S. C. et al. Quality parameters of frankfurter-type sausages with partial replacement of fat by hydrolyzed collagen. **LWT - Food Science and Technology**, v. 76, p. 320–325, 2017.
- STOWELL D., J. Polydextrose. **Fiber Ingredients: Food Applications and Health Benefits**, v. 11, n. 3, p. 172–201, 2009.
- STONE, H., SIDEL, J.L. Sensory evaluation practices. 3rd ed. **London: Academic Press, Inc.**, 2004. 408p.
- STRASBURG, G.; XIONG, Y. L.; CHIANG, W. Fisiologia e química dos tecidos musculares comestíveis. In: DAMODARAN. S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. tradução Adriano Brandelli [ et al.]. – 4 ed. – Porto Alegre: Artmed, 2010, 900p.
- SUN, W. et al. Oil-in-water emulsions stabilized by hydrophobically modified hydroxyethyl cellulose: Adsorption and thickening effect. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 311, n. 1, p. 228–236, 2007.
- SUN, X. D.; HOLLEY, R. A. Factors Influencing Gel Formation by Myofibrillar Proteins in Muscle Foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 1, p. 33–51, 2011.
- TAKAHASHI, T. Cellulose. In: CHO, S. S.; SAMUEL, P. (ed). **Fiber Ingredients – Food Application and Health Benefits**. CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, 516p.
- TALUKDER, S. Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 7, p. 1005–1011, 2015.
- THØGERSEN, R. et al. Ingestion of an Inulin-Enriched Pork Sausage Product Positively

- Modulates the Gut Microbiome and Metabolome of Healthy Rats. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 62, n. 19, p. 1–10, 2018.
- TOLDRÁ, F. & REIG, M. Innovations for healthier processed meats. **Trends in Food Science and Technology**, v.22, p.517–522, 2011.
- TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. Microbiologia [recurso eletrônico] / tradução: Aristóbolo Mendes da Silva ... [et al.]; revisão técnica: Flávio Guimarães da Fonseca. – 10. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Artmed, 2012
- TRINDADE, M. A. et al. Estabilidade oxidativa e microbiológica em carne de galinha mecanicamente separada e adicionada de antioxidantes durante período de armazenamento a -18 &deg;C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 160–168, 2008.
- TRINDADE, M. A.; JOSEFINA, C.; CASTILLO, C. Mechanically Separated Meat of Broiler Breeder and White Layer Spent Hens. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 2, p. 234–239, 2004.
- ULBRICHT, T. L.; SOUTHGATE, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. **The Lancet**, 38, 985-992.
- VERMA, A. K.; BANERJEE, R. Dietary fibre as functional ingredient in meat products: A novel approach for healthy living - A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 3, p. 247–257, 2010.
- XIONG, Y.L. Structure-Functionality relationships of muscle proteins. In: DAMORADAN, S.; PARAF, A. (Eds.) **Food Proteins and Their Applications**, Chapter 12, 341-392. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1992.
- WALSTRA, P.; VAN VLIET, T. Sistemas dispersos: considerações básicas. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**; tradução Adriano Brandelli [ et al.]. – 4 ed. – Porto Alegre: Artmed, 2010, 900p.
- WANG, D. D. et al. Association of specific dietary fats with total and cause-specific mortality. **JAMA Internal Medicine**, v. 176, n. 8, p. 1134–1145, 2016.
- WANG, W. et al. Effects of Cellulose Nanofibers Filling and Palmitic Acid Emulsions Coating on the Physical Properties of Fish Gelatin Films. **Food Biophysics**, v. 12, n. 1, p. 23–32, 2017.
- WHO – World Health Organization. Cardiovascular Diseases: Facts sheets nº 317, 2017. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/>

- WHO – World Health Organization. Interim summary of conclusions and dietary recommendations on total fat & fatty acids. Geneva: Report of a joint WHO/FAO expert consultation, 2008.
- WINUPRASITH, T.; SUPHANTHARIKA, M. Microfibrillated cellulose from mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind: Preparation, characterization, and evaluation as an emulsion stabilizer. **Food Hydrocolloids**, v. 32, n. 2, p. 383–394, 2013.
- XIONG, G. et al. Evaluation of protein structural changes and water mobility in chicken liver paste batters prepared with plant oil substituting pork back-fat combined with pre-emulsification. **Food Chemistry**, v. 196, p. 388–395, 2016.
- YIN, B.; ZHANG, R.; YAO, P. Influence of pea protein aggregates on the structure and stability of pea protein/soybean polysaccharide complex emulsions. **Molecules**, v. 20, n. 3, p. 5165–5183, 2015.
- YOUSSEF, M. K.; BARBUT, S. Physicochemical Effects of the Lipid Phase and Protein Level on Meat Emulsion Stability, Texture, and Microstructure. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 2, 2010.
- YOUSSEF, M. K.; BARBUT, S. Fat reduction in comminuted meat products-effects of beef fat, regular and pre-emulsified canola oil. **Meat Science**, v. 87, n. 4, p. 356–360, 2011.
- YOUSSEF, M. K.; BARBUT, S.; SMITH, A. Effects of pre-emulsifying fat/oil on meat batter stability, texture and microstructure. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1216–1224, 2011.
- ZENG, H. et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, p. 425–431, 2016.
- ZHENG, J. et al. Influence of bamboo shoot dietary fiber on the rheological and textural properties of milk pudding. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 364–369, 2017.
- ZHUANG, X. et al. Effects of the sugarcane dietary fiber and pre-emulsified sesame oil on low-fat meat batter physicochemical property, texture, and microstructure. **Meat Science**, v. 113, p. 107–115, 2016.
- ZHUANG, X. et al. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel improved by insoluble dietary fiber. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 219–226, 2018.

## **ANEXO I. PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

### **DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** ESTRUTURAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS PARA APLICAÇÃO EM PRODUTOS CÁRNEOS EMULSIONADOS: EFEITO DA PELE SUÍNA E INGREDIENTES EXTENSORES COMO AGENTES ESTABILIZANTES

**Pesquisador:** MIRIAN DOS SANTOS

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 92880618.7.0000.5404

**Instituição Proponente:** Faculdade de Engenharia de Alimentos

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### **DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 2.809.675

### **Apresentação do Projeto:**

Os produtos cárneos são importantes fontes de proteínas de alto valor biológico, minerais incluindo ferro e zinco e vitamina B12 (TOLDRÁ e REIG, 2011). Devido à praticidade e, em muitos casos, ao custo acessível, produtos como salsicha, mortadela e hambúrguer fazem parte dos hábitos de consumo dos brasileiros. Todavia, sua ingestão regular na dieta vem sendo desestimulada devido ao alto teor de gordura, que pode chegar a 40%, e ao alto teor de sódio nas formulações. A razão para esse fato ampara-se na associação entre o aumento de casos de doenças cardiovasculares no mundo com crescente número de óbitos bem como de diabetes e obesidade, um grande problema de Saúde Pública mundial (ANVISA, 2014; OMS, 2015; WHO, 2017; LICHTENSTEIN et al., 2014) e excessivo consumo de gordura, particularmente, gordura saturada. No entanto, a simples redução de gordura total não é suficiente para diminuir o risco apontado para muitas dessas patologias uma vez que essa complexa classe de macromoléculas subdivide-se em vários grupos de compostos que possuem propriedades fisiológicas específicas e diversificadas, tais como ácidos graxos saturados, mono e poli-insaturados, colesterol, etc. O equilíbrio de ingestão desses componentes apresenta-se, de fato, mais relevante que a simples supressão de

gordura total (OMS et al., 2010; OMS 2015). Nesse contexto, a redução e/ou reformulação de produtos processados, com altos teores de gordura e ricos em ácidos graxos saturados torna-se alvo de estudos estratégicos. No entanto, a redução de gordura saturada em produtos cárneos apresenta-se bastante desafiadora, em função das propriedades desse macro componente nos diferentes produtos cárneos: promoção da melhoria do flavor, aumento a suculência e a palatabilidade (CORRAL et al., 2014). Em produtos emulsionados, ela ainda contribui para a estabilidade da emulsão, textura e vida de prateleira, tornando sua redução e/ou substituição um problema sob o ponto de vista tecnológico. Portanto, a sua substituição é um grande desafio (TOBIN et al., 2012). Uma das estratégias mais relatadas em pesquisas recentes é a substituição da gordura saturada por óleos vegetais ou de peixes com o intuito de melhorar o perfil lipídico do produto e oferecer benefícios nutricionais aos consumidores (FREIRE et al., 2016; CAMARA & POLLONIO, 2015; POYATO et al., 2014; DELGADOPANDO et al., 2010). Por serem fontes de ácidos graxos monoinsaturados e poli-insaturados, seu incremento na dieta está associado à redução do risco de desenvolvimento de muitas doenças crônicas (JIMÉNEZ-COLMENERO, 2007). Os óleos mais comumente empregados em produtos cárneos são o azeite de oliva (rico em ácido oleico), óleos de peixes (fonte dos ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa), óleo de linhaça e óleo de chia (ricos em ácido linolênico) e óleo de canola (apresenta uma relação equilibrada entre os teores de ômega 3 e ômega 6, aproximadamente 1 para 2). Todavia, os óleos citados normalmente possuem custo elevado e/ou apresentam elevada instabilidade oxidativa devido ao alto teor de ácidos graxos com 3 ou mais insaturações (HERRERO et al., 2014). Desta forma, óleos com preços mais acessíveis ou mais estáveis em relação à oxidação podem ser empregados, como é caso do óleo de soja e do óleo de girassol alto oleico, respectivamente. Devido às limitações tecnológicas e funcionais derivadas da aplicação de óleos vegetais na forma líquida que incluem perda de textura, liberação demasiada de exsudado, perda sensorial e aumento da oxidação lipídica (POYATO et al., 2014; DELGADO-PANDO et al., 2010), muitos estudos recomendam a incorporação desses componentes na forma de pré-emulsões (JIMÉNEZ-COLMENERO, 2007) e mais recentemente, estratégias de incorporação de óleos em produtos cárneos por meio emulsões simples, emulsões duplas, emulsões gelificadas, hidrogéis e organogéis vêm sendo avaliadas (JIMENEZCOLMENERO et al., 2015). Todavia, algumas dessas estratégias são inviáveis para a implementação na cadeia produtiva devido ao custo dos ingredientes empregados e/ou devido a etapas trabalhosas de processo de obtenção de

óleos estruturados, além do desafio cada vez mais urgente de desenvolver formulações com aspectos “clean label”, um possível problema a ser enfrentado, por ex., na aplicação de organogéis em produtos cárneos cujos estruturantes são aditivos. Isso fica ainda mais evidente quando se tem em mente a aplicação em produtos populares, que dificilmente cobrirão os custos da reformulação. Os principais agentes estabilizantes ou estruturantes estudados nas alterações das propriedades reológicas de óleos são proteínas, diferentes hidrocolóides e ingredientes funcionais, com destaque para o caseinato de sódio, proteínas do soro de leite, proteínas da soja, gelatina ou colágeno, lecitina, carragena, konjac, alginato, inulina, entre outros (PINTADO et al., 2015; DELGADO-PANDO et al., 2010; JIMÉNEZCOLMENERO et al., 2010). Dentre os componentes com propriedades estruturantes, o colágeno é uma proteína particularmente interessante, pois além de apresentar capacidade emulsionante também apresenta capacidade de formação de gel, o que pode propiciar maior estabilidade ao sistema lipofílico (GÓMEZGUILLÉN et al., 2011; SURH, DECKER & MCCLEMENTS, 2006). Além disso, essa proteína é abundante em subprodutos da indústria cárnea como tendões e pele e, portanto, pode ser aproveitada de forma bastante econômica e sustentável (ALVES et al., 2016; FARIA et al., 2015; CHOE et al., 2013; OSBOURN, MANDIGO & ESKRIDGE, 1997). A pele proveniente de animais de abate, em especial a pele suína, é um produto subutilizado pela indústria e que poderia ser empregado na obtenção de géis devido ao seu alto teor de colágeno (aproximadamente 27% do conteúdo da pele suína) (FARIA et al., 2015; OSBOURN, MANDIGO & ESKRIDGE, 1997). Essa estratégia ainda não foi adotada em trabalhos da área e considerando a importância das ações sustentáveis para a cadeia produtiva bem como a sua aplicação em produtos populares, considera-se o desenvolvimento de meios para o uso da pele suína como um ingrediente multifuncional um trabalho relevante para os setores acadêmico e produtivo. Sob o aspecto de processamento, produtos cárneos passam por etapas de cominuição ou homogeneização, seguidos de tratamento térmico, com no mínimo, alcance de 72°C de temperatura interna. Nesse cenário, o uso da pele suína para a obtenção de géis lipídicos ou emulsões gelificadas se torna limitado devido à desestabilização da estrutura do gel resultante da desnaturação e solubilização do colágeno, com consequente liberação da água e do óleo. Essa limitação pode ser minimizada ou mesmo superada com a incorporação de agentes estabilizantes ao gel, como por exemplo, proteínas e carboidratos. No primeiro caso, o uso de proteínas estáveis em altas temperaturas é importante para manter a estabilidade do sistema emulsionado ao longo do tratamento térmico do produto cárneo. Os carboidratos, por sua vez, podem atuar como estabilizantes

em sistemas emulsionados ao impedir fenômenos de agregação dos glóbulos de óleo devido à combinação de mecanismos eletrostáticos e estéricos (PATINO & PILOSOF, 2011). Vários estudos vêm avaliando o uso combinado de proteínas e carboidratos em emulsões com o intuito de aumentar a estabilidade e controlar a reologia do sistema (BAI et al., 2017; NGOUEMAZONG et al., 2015; YADAV, JOHNSTON & HICKS, 2009). No Brasil, os produtos cárneos de maior impacto na dieta com relação ao teor consumido são os produtos cárneos emulsionados e também, os de menor custo. Dessa forma, buscar um substituto de gordura saturada com vantagens nutricionais, porém com viabilidade econômica, facilitará sua utilização na indústria com benefícios para todas as classes sociais de consumidores de produtos cárneos.

## Objetivo da Pesquisa:

### Objetivo Primário:

Avaliar as propriedades tecnológicas, sensoriais e microbiológicas de produtos cárneos emulsionados (mortadela e salsicha) incorporados de emulsões gelificadas à base de gel de pele suína e fibras com propriedades funcionais como substitutos de gordura saturada.

### Objetivo Secundário:

1ª Etapa: Estudar a melhor estratégia para a obtenção do gel de pele suína com características funcionais adequadas para veiculação de óleo vegetal em produtos cárneos emulsionados.

2ª Etapa: Estudar o efeito de diferentes classes de ingredientes (proteína isolada de soja, povidona, - ciclodextrina, inulina e fibra de bambu) sobre a estabilidade da emulsão gelificada à base de gel de pele suína e óleos vegetais (óleo de canola e óleo de girassol alto oleico) selecionando-se os componentes que apresentarem melhor desempenho quanto às propriedades funcionais e tecnológicas da emulsão gelificada.

3ª Etapa: Avaliar o efeito da incorporação da emulsão gelificada em substituição ao toucinho sobre as propriedades tecnológicas, sensoriais e estabilidade físico-química e microbiológica dos produtos cárneos emulsionados (mortadela e salsicha) com redução de gordura ao longo das suas vidas de prateleira (60 dias).

## Avaliação dos Riscos e Benefícios:

### Riscos:

O risco associado ao teste é baixíssimo, pois os produtos tipo mortadela e tipo salsicha serão elaborados em planta piloto sob rigoroso controle higiênico-sanitário. Além disso, serão realizadas análises microbiológicas anteriores a análise sensorial que garantam inocuidade do produto a ser avaliado. Todavia, antes da análise o participante deverá ler o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para avaliar se participará ou não da pesquisa.

### Benefícios:

Não haverá benefícios diretos aos provadores. Suas repostas, juntamente com as dos demais voluntários ajudarão os pesquisadores a elaborar um produto cárneo com apelo mais saudável.

## Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um projeto de pesquisa associado à Dissertação (Mestrado) de uma aluna matriculada no programa de Pós Graduação/Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA)/Unicamp, a ser desenvolvido no Laboratório de Carnes e Derivados-Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), orientada por uma docente desse Departamento. O cronograma mostra que este projeto teve início no primeiro trimestre de 2017, mas a etapa envolvendo participantes da pesquisa (análise sensorial) será iniciada no quarto trimestre de 2018, estando a finalização prevista para o primeiro trimestre de 2019. A proponente informa que o projeto será custeado com recursos próprios e conta com patrocínio do CNPq, provavelmente mediante a concessão de bolsa de Mestrado a ela.

### Metodologia Proposta:

Na 1ª Etapa será avaliado o efeito do tempo de tratamento térmico combinado com um meio ácido (solução de ácido cítrico variando 0,01 M a 0,1 M) sobre as propriedades do gel de pele suína. Serão conduzidas análises de avaliação do pH, do teor de umidade e teor proteico, da capacidade de retenção de água e de estabilidade da emulsão dos diferentes tratamentos, que serão analisados por meio da ANOVA ( $p < 0,05$ ) e teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Na 2ª etapa serão avaliados diferentes componentes (proteína isolada de soja, polidextrose,  $\alpha$ -ciclodextrina, inulina e fibra de bambu) para atuarem na estabilidade e melhoria das propriedades funcionais e nutricionais de emulsões gelificadas à base GPS (condição de obtenção determinada na Etapa 1) e da mistura de óleos vegetais (óleo de canola e óleo de girassol de alto oleico) por meio do delineamento Plackett-Burman (PB) (90 % de confiança). Para caracterizar as emulsões gelificadas serão conduzidas as seguintes análises: distribuição do tamanho de partícula, pH, cor, compressão uniaxial, estabilidade térmica da emulsão, sinérese no armazenamento, microscopia óptica, comportamento térmico e estabilidade da emulsão cárnea. Após os ensaios preliminares, será proposto um delineamento composto central rotacional (DCCR) com as variáveis mais significativas para a estabilidade da emulsão gelificada a um nível de 95 % de confiança. As análises utilizadas para avaliar os tratamentos propostos no delineamento Plackett-Burman também serão utilizadas como respostas para o DCCR.

Na 3ª etapa a emulsão gelificada obtida em condição otimizada será utilizada como substituto da gordura suína em dois tipos de produtos cárneos emulsionados: mortadela e salsicha. Para tanto, serão obtidas 6 formulações de cada produto, sendo uma formulação controle contendo gordura suína e 5 formulações contendo concentrações crescentes da emulsão gelificada (20%, 40%, 60%, 80% e 100%) em substituição à gordura suína. O processamento ocorrerá em triplicata. As seguintes análises serão utilizadas para caracterizar as amostras dos diferentes tratamentos: composição proximal, pH, cor, aW, perfil de textura, perfil de ácidos graxos, estabilidade da emulsão cárnea, microestrutura, distribuição de água, avaliação microbiológica e análise sensorial (teste de aceitação e Check All That Apply – CATA). Para a análise sensorial serão recrutados 120 provadores na Faculdade de Engenharia de Alimentos por dia de análise (a análise sensorial ocorrerá próxima aos tempos 15, 30 e 60 dias de vida de prateleira dos produtos analisados) desde que as amostras apresentem estabilidade microbiológica assegurada e que este projeto seja aprovado pelo Comitê de ética da Universidade Estadual de Campinas. Todos os participantes irão assinar um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, no qual concordam em participar voluntariamente das análises sensoriais. O Teste de aceitação será feito por meio de escala hedônica estruturada de nove pontos, com extremos variando de desgostei muitíssimo a gostei muitíssimo. Os atributos de cor, aroma, sabor, textura e impressão global serão avaliados por consumidores entre 18 e 60 anos (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 1999). As amostras serão apresentadas aos consumidores de forma monádica e a ordem de apresentação seguirá um delineamento balanceado conforme

descrito por Macfie et al. (1989). O Teste CATA (Check-all-that-apply) será de acordo com Ares et al. (2010) e Santos et al. (2015). Os consumidores marcarão as características presentes no produto de acordo com as questões CATA. Para isso, será oferecida uma lista, onde eles irão selecionar, sem restrição, todos os termos que considerarem apropriados para descrever cada uma das amostras em teste. Os termos utilizados para elaborar as questões CATA serão obtidos de estudos anteriores realizados com produtos cárneos emulsionados no Laboratório de Carnes.

#### Critério de Inclusão:

Consumidores de produtos cárneos saudáveis com idade entre 18 a 60 anos e que não tenham nenhum tipo de restrição (alimentar, religiosa, ideológica) em relação ao consumo de produtos cárneos emulsionados, como mortadela e salsicha.

#### Critério de Exclusão:

Consumidores com idade inferior a 18 anos ou superior a 60 anos, que não consumam produtos cárneos ou que tenham restrições de qualquer ordem (como alergia ou intolerância alimentar, religiosa, etc.) para o consumo de produtos cárneos com matéria-prima suína e bovina, carne de frango mecanicamente separada (CFMS), sal refinado e/ou ingredientes que poderão fazer parte das emulsões gelificadas (pele suína, proteína isolada de soja, inulina, polidextrose, ciclodextrina, fibra de bambu, óleo de girassol alto oleico e óleo de canola).

#### Critérios de encerramento ou suspensão da pesquisa:

A análise sensorial ao longo da vida de prateleira dos produtos avaliados (salsicha e mortadela) não será realizada caso a análise microbiológica esteja em desacordo com o especificado no item 5 i da Resolução RDC 12 de 02Janeiro2001 que regulamenta os Padrões Microbiológicos para Alimentos.

#### Metodologia de Análise de Dados:

Os resultados do teste de aceitação serão avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5% e a diferença entre as médias dos resultados será avaliada pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o programa estatístico SAS, versão 9.1, licenciado pela UNICAMP. No estudo das questões CATA será realizada a análise de frequência das menções para cada um dos termos utilizados para descrever as amostras

e uma análise fatorial múltipla (MFA) com o objetivo de identificar as relações entre os termos sensoriais e a aceitação global dos produtos, conforme proposto Santos et al. (2015). A análise de correspondência considerando a distância do qui-quadrado (VIDAL et al., 2015) também será calculada na matriz contendo a frequência de uso de cada termo para cada amostra. Todas as avaliações estatísticas serão realizadas no programa XLSTAT 2014 com exceção dos dados provenientes da análise descritiva. O efeito da adição da emulsão gelificada nos produtos cárneos emulsionados (salsicha e mortadela) sobre as propriedades físico-químicas e microbiológicas será avaliado utilizando um desenho de blocos completos aleatorizados. Três replicatas serão elaboradas em dias diferentes (n=3) e analisadas durante 60 dias. Os resultados serão avaliados por ANOVA com modelo linear (GLM – General Linear Models) e SPSS package (SPSS 21.0, IL, USA). Quando o efeito dos tratamentos for significativo, o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) será utilizado para determinar as diferenças entre os mesmos. Com relação às análises microbiológicas, os resultados serão interpretados de acordo com o exposto acima para as contagens, segundo RDC 12 (BRASIL, 2001) e ausência em 25g para Salmonella.

### Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentadas a Folha de Rosto, assinada pelo Diretor da Faculdade de Engenharia de Alimentos Unicamp, o documento com Informações Básicas do projeto, o projeto detalhado e dois Termos de Consentimento Livre e Esclarecido, um deles a ser assinado pelos participantes do projeto relacionado ao produto "salsicha" e outro relativo ao produto "mortadela".

### Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Pendência 1:

Apresentar o questionário CATA (Check-All-That-Apply) que será aplicado aos participantes da etapa sobre análise sensorial dos produtos "salsicha" e "mortadela".

Resposta:

Foi providenciado.

Pendência 2:

TCLE - em acompanhamento deve garantir ao participante atendimento imediato, gratuito e pelo tempo necessário na ocorrência de evento adverso (ex: alergia, indigestão, vômitos...).

Resposta:

Acompanhamento e assistência: Na ocorrência de qualquer evento adverso (alergia, indigestão, vômito, mal-estar, etc.), você deverá comunicar aos aplicadores do teste, os quais irão prestar atendimento imediato, gratuito e pelo tempo necessário na ocorrência de evento adverso.

Pendência 3:

-TCLE deve ter letra e espaçamento maiores pois está difícil de ler, mesmo com ampliação da página. Resposta:

Foi providenciado.

Pendência 4:

- Esclarecer no TCLE que tipo de informação será solicitada em "e marcar quantos atributos caracterizam a amostra recebida pelo teste CATA (Check-all-that-apply)".

Resposta:

Participando do estudo você está sendo convidado a provar e avaliar 6 amostras de mortadela com relação a cor, aroma, sabor, textura e impressão global do produto (teste de aceitação) e marcar os atributos que caracterizam a amostra recebida por meio do teste CATA (Check-all-that-apply), ao todo serão listados 20 atributos. No início do teste você deverá preencher as seguintes informações: nome, idade, sexo e a sua frequência de consumo de mortadela. Essas informações ajudarão o pesquisador na análise dos dados.

### Considerações Finais a critério do CEP:

O participante da pesquisa deve receber uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (quando aplicável).

O participante da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (quando aplicável).

O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado. Se o pesquisador considerar a descontinuação do estudo, esta deve ser justificada e somente ser realizada após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou. O pesquisador deve aguardar o parecer do CEP quanto à descontinuação, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao participante ou quando constatar a superioridade de uma estratégia diagnóstica ou terapêutica oferecida a um dos grupos da pesquisa, isto é,

somente em caso de necessidade de ação imediata com intuito de proteger os participantes.

O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo. É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas e aguardando a aprovação do CEP para continuidade da pesquisa. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial.

Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente seis meses após a data deste parecer de aprovação e ao término do estudo.

Lembramos que segundo a Resolução 466/2012, item XI.2 letra e, “cabe ao pesquisador apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento”.

O pesquisador deve manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

| Tipo Documento                                            | Arquivo                                                 | Postagem               | Autor             | Situação |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|-------------------|----------|
| Informações Básicas do Projeto                            | PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1153263.pdf           | 04/08/2018<br>11:53:04 |                   | Aceito   |
| Outros                                                    | Ficha_sensorial_com_Questionario_CA<br>TA_pendencia.pdf | 04/08/2018<br>11:49:47 | MIRIAN DOS SANTOS | Aceito   |
| TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência | TCLE_modificado_pendencia.pdf                           | 04/08/2018<br>11:48:06 | MIRIAN DOS SANTOS | Aceito   |
| Projeto Detalhado / Brochura Investigador                 | Projeto_de_pesquisa.pdf                                 | 21/06/2018<br>18:38:39 | MIRIAN DOS SANTOS | Aceito   |
| Folha de Rosto                                            | Folha_de_rosto.pdf                                      | 21/06/2018<br>18:21:17 | MIRIAN DOS SANTOS | Aceito   |

**Situação do Parecer:**

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPINAS, 09 de Agosto de 2018

---

Assinado por:

**Renata Maria dos Santos Celeghini (Coordenador)**