



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

Talita Maira Goss Milani

**Adição pré-extrusão de tiamina como precursor de odor e sabor
de carne em proteína texturizada de soja: do desenvolvimento à
aplicação**

São José do Rio Preto

2018

Talita Maira Goss Milani

Adição pré-extrusão de tiamina como precursor de odor e sabor de carne em proteína texturizada de soja: do desenvolvimento à aplicação

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto/SP.

Financiadora: FAPESP – Processo: 2013/24590-1
Apoio: CAPES

Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Conti e Silva

São José do Rio Preto
2018

Milani, Talita Maira Goss.

Adição pré-extrusão de tiamina como precursor de odor e sabor de carne em proteína texturizada de soja : do desenvolvimento à aplicação / Talita Maira Goss Milani. -- São José do Rio Preto, 2018
174 f. : il., tabs.

Orientador: Ana Carolina Conti e Silva

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Proteínas de soja texturizada. 3. Hambúrgueres. 4. Tiamina. 5. Processo de extrusão. 6. Compostos orgânicos voláteis. 7. Alimentos - Avaliação sensorial. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. II. Título.

CDU – 664

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IBILCE
UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Talita Maira Goss Milani

**Adição pré-extrusão de tiamina como precursor de odor e sabor de carne
em proteína texturizada de soja: do desenvolvimento à aplicação**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto/SP.

Financiadora: FAPESP – Processo: 2013/24590-1
Apoio: CAPES

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Ana Carolina Conti e Silva
UNESP – São José do Rio Preto/SP
Orientadora

Profa. Dra. Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici
UNICAMP – Campinas/SP

Profa. Dra. Marta de Toledo Benassi
UEL – Londrina/PR

Profa. Dra. Célia Maria Landi Franco
UNESP – São José do Rio Preto/SP

Prof. Dr. Maurício Boscolo
UNESP – São José do Rio Preto/SP

São José do Rio Preto
16 de maio de 2018

DEDICATÓRIA

Ao Paulo e ao Murilo, com todo meu amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela graça de chegar até aqui e poder realizar um sonho.

Ao meu marido, Paulo, e ao meu filho, Murilo, pela força e pelo amor que me fortaleceu e me encorajou diante das dificuldades, do começo ao fim desta jornada.

À minha mãe, Vera, e ao Luiz que são base da minha vida, sempre me apoiam e foram importantes nos cuidados do Murilo.

Ao meu pai, Niro, e à Marli que, apesar da distância, torcem pela minha felicidade.

À vó Cida, vô Zé e tia Cida que me educaram com muito amor para a vida.

Aos meus queridos irmãos: Caio, Tainara e Tales.

À minha segunda família, Paulo, Iraci e Tiago, que me apoiam com muito amor e estão sempre muito presentes.

À minha família de fé, que amo muito: Bruna, Alencar, Serena e Glória.

Às minhas grandes amigas de caminhada, que sorrimos e choramos juntas, e me presentearam com suas palavras e companhias acolhedoras: Dani Mercês, Kátia e Karina.

À minha orientadora, Ana Carolina, por todos os ensinamentos, pelo carinho e respeito que sempre teve por mim e pelo meu trabalho e por me ajudar a me tornar uma pessoa e profissional muito melhor.

Aos amigos Michele e João, pela companhia de tantos anos, no trabalho e na vida.

À Natália, amiga preciosa, altruísta e cheia de vida, que tornou meus dias mais leves.

À querida Suzane, pela parceria incondicional, que rendeu uma linda amizade.

Aos queridos amigos de laboratório, Denise, Julaisa, Lara, Larissa, Leonardo, Liara, Patrícia, Raquel, Tatiane e Vânia, pelo companheirismo e por tudo o que compartilhamos e vivemos: alegrias, tristezas, conhecimentos, ansiedades, viagens, frustrações, festas, trabalhos, risadas, cansaços e conquistas.

À técnica Alana, pelo suporte, aprendizado e amizade.

À Amanda Paiva, pelas boas ideias e apoio absoluto em tantos anos de parceria.

Aos professores da Comissão Examinadora da minha defesa de Tese, pelas valiosas contribuições para a melhoria do trabalho final.

Aos amigos do Grupo de Casais de Lins: Bia, Zé, Michele, Caputo, Maira e Willian.

À querida amiga Letícia, por acolher-me com carinho em sua casa.

À Daniela e ao Prof. Maurício pelo auxílio no trabalho de Cromatografia.

Aos doadores dos materiais insumos do projeto: Marsul Proteínas Ltda., ADM *Foods & Wellness*, Corantec Corantes Naturais Ltda., Doremus Alimentos Ltda., Denver Especialidades Químicas Ltda e Newdrop Química Ltda.

Ao IBILCE e professores do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA), pela oportunidade de aprendizado e de realização deste trabalho.

À FAPESP (Processo n° 2013/24590-1 – bolsa de doutorado) e CAPES, pelo apoio financeiro.

“A gratidão é um fruto fecundo da espiritualidade. Ela nos permite olhar a vida sem mágoas, rancores. Tudo foi como pôde ser.”

Pe. Fábio de Melo

RESUMO

A proteína texturizada de soja (PTS) é obtida pelo processo de extrusão termoplástica e devido às suas características de textura, semelhantes às das fibras musculares da carne, é comumente utilizada como substituta de proteína animal. A aromatização da PTS pode ser uma forma de tornar o produto mais atrativo sensorialmente, e uma alternativa é a utilização de precursores de aroma como método de aromatização pré-extrusão, para evitar um aumento no teor lipídico do produto final. Por isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma PTS, com odor e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de tiamina (precursor de aroma), e aplicá-la na elaboração de dois produtos: PTS moída e temperada (análogo de carne) e hambúrguer de soja. A proteína concentrada de soja (PCS) foi adicionada de 1,5% de tiamina e extrusada em diferentes condições, utilizando a Metodologia de Superfície de Reposta. Aplicou-se um primeiro delineamento experimental com três variáveis independentes (umidades da PCS, temperatura de extrusão e velocidade de rotação da rosca), a partir do qual foi utilizada a técnica de desejabilidade para aplicar um segundo delineamento experimental com duas variáveis independentes (umidades da PCS e velocidade de rotação da rosca). Assim, a umidade da PCS influenciou negativamente a razão de expansão, força de corte do extrusado reidratado e solubilidade da proteína em água. Por outro lado, influenciou positivamente a densidade, ideal da intensidade do odor de carne e o teor dos compostos voláteis hexanal, 2-pentilfurano, 2-pentiltiofeno e 1-butil-2-octenal. A maior intensidade do odor de carne foi percebida quando a umidade esteve em torno do ponto central, garantindo ainda uma boa avaliação para o ideal da intensidade do odor de carne. O croma da cor foi influenciado positivamente pela velocidade de rotação da rosca, enquanto a cromaticidade vermelha, a tonalidade cromática e a estabilidade da emulsão tiveram efeito da umidade da PCS e da velocidade de rotação da rosca. Os extrusados adicionados de tiamina, com umidade da PCS de 34% e velocidade de rotação da rosca de 216 ou 242 rpm destacaram-se pela aceitação do odor de carne, por possuírem altos teores de compostos voláteis com notas odoríferas de carne. Dois extrusados do delineamento (PCS com 28,4 e 34% de umidade) e um sem adição de tiamina foram utilizados na elaboração de análogo de carne e hambúrguer de soja, sendo que os produtos foram analisados quanto a suas propriedades físicas, aceitação sensorial e perfil descritivo utilizando o método *Rate-All-That-Apply* (RATA). O análogo de carne 28,4% U/com tiamina apresentou menor capacidade de absorção de água e maior força de compressão, porém os resultados são adequados para este produto. A aceitação global

descreveu a amostra 34,0% U/com tiamina, devido aos atributos cor branca, odor de carne, gosto salgado, sabor de carne, sabor de miojo, sabor residual de queimado e cheiroso, enquanto que a aceitação do odor deveu-se ao odor de carne. A amostra 28,4% U/com tiamina destacou-se pela baixa aceitação da textura, devido a sua textura borrachenta, esfarelenta/arenosa e úmida. O hambúrguer de soja 28,4% U/com tiamina apresentou menor encolhimento, porém todos os resultados foram muito menores se comparado a produtos elaborados com carne. A aceitação do odor e sabor e a aceitação global foram maiores nos hambúrgueres com tiamina. A intensidade dos atributos odor de frango e cheiroso foi maior para os hambúrgueres com tiamina, enquanto que a intensidade do odor de soja/vegetal foi maior para o hambúrguer sem tiamina. O hambúrguer 34,0% U/com tiamina destacou-se pelo sabor de frango, cor branca e da textura macia. Já o hambúrguer 28,4% U/com tiamina foi descrito pela aceitação do odor, textura, sabor e aceitação global, devido ao odor de carne e de frango, por ser cheiroso e gostoso, além da baixa intensidade do odor de soja/vegetal, sabor de soja e de miojo. Desta maneira, o uso de tiamina como precursor de odor e sabor de carne na proteína texturizada de soja possibilita a obtenção de extrusados com propriedades físicas e funcionais adequadas, e maior intensidade do odor de carne e aceitação sensorial do odor de carne. Além disso, quando aplicada em produtos à base de soja, a presença da PTS com tiamina caracteriza os produtos pela maior aceitação do odor e sabor de carne.

Palavras-chave: Extrusão termoplástica. Compostos voláteis. Precursor de aroma. Hambúrguer de soja. Análogo de carne. RATA.

ABSTRACT

Textured soy protein (TSP) is obtained through the thermoplastic extrusion process and, due to its texture characteristics, similar to those of muscle meat fibers, it is commonly used as a substitute for animal protein. TSP flavoring may render the product sensorially more attractive; using flavor precursors as a pre-extrusion flavoring method is a good choice in order to avoid an increase in the lipid content of the final product. Therefore, the objective of this study was to develop a meat flavored TSP through the pre-extrusion addition of thiamine (aroma precursor) and to apply it in the elaboration of two products: seasoned ground TPS (meat analogue) and soy burger. Concentrated soy protein (CSP) was added with 1.5% thiamine and extruded under different conditions, using the Response Surface Methodology. A first experimental design was applied with three independent variables (CPS moisture, extrusion temperature and screw speed), from which the desirability technique was used to apply a second experimental design with two independent variables (CPS moisture and screw speed). The CSP moisture influenced negatively expansion ratio, cutting force of the rehydrated extrudate and solubility of the protein in water. On the other hand, it positively influenced for density, ideal meat odor intensity and amount of volatile compounds hexanal, 2-pentylfuran, 2-pentylthiophene and 1-butyl-2-octenal. The strongest meat odor was noticed when CSP moisture was close to central point, still assuring a good score to the ideal meat odor intensity. Chroma was positively influenced by the screw speed, while the red chromaticity, the chromatic hue and the emulsion stability had an effect on the CSP moisture and the screw speed. Extrudates added of thiamine, with 34% CSP moisture and 216 or 242 rpm of screw speed stood out for their meat odor, as they had high amounts of volatile compounds with meaty notes. Two extrudates of the design (CSP with 28.4 and 34% moisture) and one without thiamine were used in the elaboration of the meat analogue and the soy burger, and the products were analyzed for their physical properties, sensory acceptance and descriptive profile, using the Rate-All-That-Apply (RATA) method. Meat analogue 28.4% U/with thiamine showed lower water absorption capacity and higher compressive force, which are adequate results for this product. Global acceptance described the sample 34.0% U/with thiamine, due to its attributes of white color, meat odor, salty taste, meat flavor, instant noodles flavor, residual flavor of burnt, and good aroma; on the other hand, the odor acceptance was due to its meat odor. Sample 28.4% U/with thiamine was characterized by a low texture acceptance, due to its dry, gritty/sandy and moist texture. The soy burger 28.4%

U/with thiamine had lower cooked shrinkage, but all the results were much lower when compared to products made with meat. Odor and flavor acceptance as well as overall acceptance were higher for burgers with thiamine. The intensity of the chicken odor and the odorous attributes were higher for burgers with thiamine, while the intensity of the soy/vegetable odor was higher for thiamine-free burger. Burger 34.0% U/with thiamine stood out for its chicken taste, white color and soft texture. Burger 28.4% U/with thiamine had good acceptance by its odor, texture, flavor and had an overall acceptance due its meat and chicken odors, being described as delicious and having good aroma, as well as a low intensity of soy/vegetable odor , soy and instant noodles flavor. Thus, the use of thiamine as a precursor of meat odor and taste in textured soy protein enables us to obtain extrudates with adequate physical and functional properties, and a more intense meat odor and higher sensorial acceptance of the meat odor. In addition, when applied to soy-based products, the presence of TSP with thiamine grants the products with a greater acceptance for its meat odor and taste.

Keywords: *Thermoplastic extrusion. Volatile compounds. Aroma precursor. Soy burger. Meat analogue. RATA.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1: Degradação térmica da tiamina sob condições básicas.....	34
--	----

CAPÍTULO 2

Figura 1: Extrusora de rosca única (INBRAMAQ – RXPQ Labor 24).....	44
Figura 2: Perfis para valores previstos e desejabilidade não otimizados.	48
Figura 3: Perfis para valores previstos e desejabilidade otimizados.	49
Figura 4: Ficha de avaliação sensorial dos extrusados.	57
Figura 5: Amostra de extrusado em copo plástico codificado.....	58
Figura 6: Fotos das secções transversais e longitudinais dos extrusados de proteína concentrada de soja do primeiro delineamento experimental.	66
Figura 7: Razão de expansão em função da temperatura de extrusão com a umidade da proteína concentrada de soja (A) e em função da velocidade da rosca com a umidade da proteína concentrada de soja (B) (primeiro delineamento experimental).	68
Figura 8: Tonalidade cromática (h) em função da temperatura de extrusão com a umidade da proteína concentrada de soja (A) e em função da velocidade da rosca com a umidade da proteína concentrada de soja (B) (primeiro delineamento experimental).	69
Figura 9: Intensidade do odor de carne dos extrusados em função da umidade da PCS (primeiro delineamento experimental).	72
Figura 10: Tempo de residência dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).	75
Figura 11: Fotos das secções transversais e longitudinais dos extrusados de proteína concentrada de soja do segundo delineamento experimental.	77
Figura 12: Razão de expansão dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).	81
Figura 13: Densidade dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).....	82
Figura 14: Força de corte dos extrusados hidratados em função da velocidade de rotação da rosca (segundo delineamento experimental).	83
Figura 15: Valores de C* e b* dos extrusados em função da velocidade de rotação da rosca e valores de a* e tonalidade cromática (h) dos extrusados em função da umidade e da velocidade de rotação da rosca (segundo delineamento experimental).....	83

Figura 16: Taxa de reidratação dos extrusados (segundo delineamento experimental).	86
Figura 17: Fotos das secções transversais e longitudinais dos extrusados de proteína concentrada de soja, antes (A) e após (B) o teste de reidratação, e suas classificações (segundo delineamento experimental).	87
Figura 18: Solubilidade proteica dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).	89
Figura 19: Estabilidade da emulsão dos extrusados em função da umidade da PCS e da velocidade de rotação da rosca (segundo delineamento experimental).	90
Figura 20: Intensidade do odor de carne dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).	93
Figura 21: Ideal da intensidade do odor de carne dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).	94
Figura 22: Cromatogramas dos extrusados sem tiamina e com tiamina*.	95
Figura 23: Teor dos compostos voláteis em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).	99
Figura 24: Análise de componentes principais entre a aceitação sensorial, a intensidade de odor de carne e o teor de compostos voláteis dos extrusados (A – Projeção das variáveis, B – Projeção das amostras).	101

CAPÍTULO 3

Figura 1: Ilustração das medidas perpendiculares para obtenção da média do diâmetro (d) do hambúrguer de soja.	120
Figura 2: Exemplo da tela do questionário de recrutamento apresentada aos consumidores, utilizando o programa FIZZ <i>Sensory Analysis Software</i> versão 2.50.	122
Figura 3: Perguntas do questionário de caracterização dos consumidores inseridas no programa FIZZ <i>Sensory Analysis Software</i> versão 2.50.	122
Figura 4: Exemplo da tela apresentada aos consumidores para avaliação da aceitação sensorial usando o programa FIZZ <i>Sensory Analysis Software</i> versão 2.50.	123
Figura 5: Questionário de caracterização de consumidores para o grupo de foco.	126
Figura 6: Análise de componentes principais entre os atributos da análise descritiva e a aceitação sensorial dos análogos de carne (A – Projeção das variáveis, B – Projeção das amostras).	133
Figura 7: Análise de componentes principais entre os atributos da análise descritiva e a aceitação sensorial das amostras de hambúrguer de soja.	141

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Primeiro delineamento composto central rotacional.	45
Tabela 2: Especificações das variáveis dependentes para cálculo da função desejável.	47
Tabela 3: Segundo delineamento composto central rotacional.	51
Tabela 4: Média \pm desvio padrão para a razão de expansão, densidade e força de corte dos extrusados do primeiro delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 10).	63
Tabela 5: Média \pm desvio padrão para os parâmetros de cor dos extrusados do primeiro delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 12).	63
Tabela 6: Modelos quadráticos para as características físicas dos extrusados do primeiro delineamento experimental.	67
Tabela 7: Média \pm desvio padrão para os parâmetros sensoriais dos extrusados do primeiro delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 57).	71
Tabela 8: Média \pm desvio padrão para tempo de residência (n = 3) e amperagem (n = 14) do processo de extrusão do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina.	74
Tabela 9: Média \pm desvio padrão para razão de expansão, densidade e força de corte (n = 10) dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina.	78
Tabela 10: Média \pm desvio padrão para os parâmetros de cor dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 12).	79
Tabela 11: Modelos lineares e quadráticos para as características físicas dos extrusados do segundo delineamento experimental.	80
Tabela 12: Média \pm desvio padrão para as propriedades funcionais dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (*n = 3, **n = 2).	85
Tabela 13: Modelos linear e quadrático para as características funcionais dos extrusados do segundo delineamento experimental.	88
Tabela 14: Média \pm desvio padrão para os parâmetros sensoriais dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 86).	92
Tabela 15: Modelos quadrático e linear para as características sensoriais dos extrusados do segundo delineamento experimental.	92

Tabela 16: Compostos voláteis identificados nos extrusados do segundo delineamento experimental por CG-EM.	96
Tabela 17: Média \pm desvio padrão para o teor de compostos voláteis, expressa em área relativa, dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 3).	98
Tabela 18: Modelos lineares para os teores de compostos voláteis dos extrusados do segundo delineamento experimental.	99

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Condições de extrusão da proteína concentrada de soja para obtenção da PTS.	114
Tabela 2: Padronização granulométrica (%) da proteína texturizada de soja por peneira e fundo.	116
Tabela 3: Formulação básica do preparo do análogo de carne.	117
Tabela 4: Formulação básica da produção do hambúrguer de soja.	118
Tabela 5: Média \pm desvio padrão para a capacidade de absorção de água (n = 6) e força de compressão (n = 20) das amostras de análogo de carne.	129
Tabela 6: Média \pm desvio padrão (n = 132) para aceitação sensorial das amostras de análogo de carne.	130
Tabela 7: Média \pm desvio padrão para os atributos das amostras de análogo de carne (n = 66).	131
Tabela 8: Média \pm desvio padrão (n = 20) para o rendimento, encolhimento e textura dos hambúrgueres de soja.	136
Tabela 9: Média \pm desvio padrão (n = 140) para aceitação sensorial dos hambúrgueres de soja.	137
Tabela 10: Média \pm desvio padrão para os atributos dos hambúrgueres de soja (n = 70).	139

APÊNDICE 1

Tabela A1: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de farinha desengordurada de soja, obtidos no primeiro grupo de testes.	156
Tabela A2: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de farinha desengordurada de soja, obtidos no segundo grupo de testes.	157
Tabela A3: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de farinha desengordurada de soja, obtidos no terceiro grupo de testes.	158

Tabela A4: Razão de expansão (RE) (média ± desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no primeiro grupo de testes.	159
Tabela A5: Razão de expansão (RE) (média ± desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no segundo grupo de testes.....	161
Tabela A6: Razão de expansão (RE) (média ± desvio padrão, n = 5) dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no terceiro grupo de testes.....	162
Tabela A7: Teste de reidratação/intensidade do odor de carne/característica predominante no sabor dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no terceiro grupo de testes. .	162
Tabela A8: Característica do sabor dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no quarto grupo de testes.	163

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	19
OBJETIVOS	21
Objetivo geral.....	21
Objetivos específicos.....	21
ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	22
CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....	23
1. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA.....	24
2. EXTRUSÃO DE MATERIAIS PROTEICOS.....	26
3. SOJA.....	27
4. PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA.....	30
5. PRECURSORES DE AROMA DE CARNE.....	32
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA COM ODORE E SABOR DE CARNE POR MEIO DA ADIÇÃO PRÉ-EXTRUSÃO DE TIAMINA	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS	42
2.1. Material.....	42
2.2. Ajuste da umidade da proteína concentrada de soja.....	43
2.3. Primeiro delineamento experimental.....	44
2.4. Técnica de desejabilidade.....	46
2.5. Segundo delineamento experimental	50
2.6. Avaliação das características de processo dos extrusados	52
2.7. Avaliação das propriedades físicas dos extrusados	52
2.7.1. Razão de expansão.....	52
2.7.2. Densidade.....	52
2.7.3. Força de corte.....	53
2.7.4. Cor	53
2.8. Avaliação das propriedades funcionais dos extrusados	54

2.8.1.	Capacidade de absorção de água	54
2.8.2.	Velocidade de reidratação.....	54
2.8.3.	Teste de reidratação e índice de desintegração dos extrusados	55
2.8.4.	Solubilidade da proteína em água	55
2.8.5.	Estabilidade da emulsão.....	56
2.9.	Avaliação das características sensoriais dos extrusados	57
2.10.	Análise dos compostos voláteis nos extrusados	59
2.11.	Análise estatística dos dados	61
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
3.1.	Primeiro delineamento experimental.....	62
3.1.1.	Propriedades físicas dos extrusados.....	62
3.1.2.	Características sensoriais dos extrusados	69
3.2.	Segundo delineamento experimental	73
3.2.1	Características do processo de extrusão.....	73
3.2.2	Propriedades físicas dos extrusados.....	75
3.2.3	Propriedades funcionais dos extrusados	84
3.2.4	Características sensoriais dos extrusados	90
3.2.5	Teor de compostos voláteis nos extrusados	94
4.	CONCLUSÕES.....	102
	REFERÊNCIAS	103

CAPÍTULO 3 - ELABORAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA COM ODOR E SABOR DE CARNE.....109

1.	INTRODUÇÃO	110
2.	MATERIAL E MÉTODOS	111
2.1.	Material.....	111
2.2.	Denominação dos produtos elaborados	112
2.3.	Escolha dos tratamentos para a produção de proteína texturizada de soja.....	112
2.4.	Ajuste da umidade da proteína concentrada de soja.....	113
2.5.	Produção da proteína texturizada de soja.....	114
2.6.	Preparação e padronização granulométrica da proteína texturizada de soja granulada.....	115
2.7.	Preparação do análogo de carne.....	116
2.8.	Produção do hambúrguer de soja	117
2.9.	Avaliação da capacidade de absorção de água do análogo de carne	118

2.10.	Avaliação do rendimento e encolhimento do hambúrguer de soja	119
2.11.	Análise de textura do análogo de carne e do hambúrguer de soja	120
2.12.	Avaliação sensorial do análogo de carne e do hambúrguer de soja	121
2.12.1.	Caracterização dos consumidores	121
2.12.2.	Análise de aceitação sensorial	123
2.12.3.	Análise descritiva <i>Rate-All-That-Apply</i> (RATA)	124
2.13.	Análise estatística dos dados	128
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	129
3.1.	Análogo de carne.....	129
3.2.	Hambúrguer de soja	135
4.	CONCLUSÕES	142
	REFERÊNCIAS	143

CONCLUSÃO GERAL	146
------------------------------	-----

APÊNDICE 1: Estudo para definição da matéria-prima, parâmetros de extrusão e precursor de odor e sabor de carne para início do trabalho.	148
---	-----

APÊNDICE 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	166
---	-----

APÊNDICE 3: Exemplo de ficha de análise descritiva <i>Rate-All-That-Apply</i> (RATA) de ANÁLOGO DE CARNE	167
---	-----

APÊNDICE 4: Exemplo de ficha de análise descritiva <i>Rate-All-That-Apply</i> (RATA) de hambúrguer de soja	168
---	-----

APÊNDICE 5: Valores de p do teste t de <i>Student</i> entre as repetições do processo de extrusão	169
--	-----

APÊNDICE 6: Frequências de atributos aplicáveis por amostra	170
--	-----

ANEXO A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa	172
---	-----

INTRODUÇÃO GERAL

A extrusão termoplástica é uma tecnologia versátil para obtenção de diversos produtos alimentícios. A proteína texturizada de soja é um dos produtos que pode ser produzido por essa tecnologia, em que alta temperatura, pressão e força de cisalhamento são aplicadas ao material proteico, para obter um produto de característica fibrosa semelhante à carne. Desta forma, ela tem uma ampla possibilidade de aplicação após hidratada, como substituta de carne ou como extensor (ingrediente) na formulação de diversos produtos cárneos, e também na fabricação de produtos como barras proteicas, cereais matinais, sopas e recheios de tortas, massas e salgadinhos. Além disso, o consumo de produtos à base de soja está diretamente relacionado a benefícios na saúde, como por exemplo, a proteção contra doenças cardiovasculares e a redução de risco de certos tipos de câncer.

Porém, alguns componentes presentes na soja, como as lipoxigenases e isoflavonas, tornam o produto com características de odor e sabor considerados desagradáveis pelos consumidores (*off-flavors*). Se por um lado já existe alguns cultivares de soja que não apresentam a lipoxigenase, por outro a eliminação das isoflavonas não é uma boa alternativa, já que elas também têm um papel importante na manutenção da saúde do consumidor. Por isso, a aromatização do produto é uma opção para tornar o produto mais atraente sensorialmente para um maior número de consumidores.

O procedimento convencional de aromatização nas indústrias produtoras de extrusados é a aplicação do aroma após a extrusão, usando uma base lipídica como veículo. No caso de proteínas vegetais texturizadas, tem se conhecimento de apenas uma empresa brasileira que produz “proteínas saborizadas”, sendo que essa aromatização/saborização é feita pós-extrusão, podendo chegar a um acréscimo de cinco vezes no teor de lipídios no produto final, se comparado a uma proteína texturizada de soja não aromatizada. Por isso, para manter o produto atraente do ponto de vista nutricional, a aromatização pré-extrusão por meio da adição de precursores de aroma é mais adequada, visto a não necessidade de incorporação de lipídeos no produto final.

A tiamina, uma vitamina essencial para o bom funcionamento das células nervosas e do cérebro, quando submetida a altas temperaturas sofre degradação térmica podendo liberar compostos voláteis responsáveis pelo odor e sabor característicos de carne, e por isso pode ser um bom precursor de aroma de carne durante o processo de extrusão termoplástica. A aplicação dessa proteína texturizada de soja aromatizada em produtos mais populares à base

de soja, como o análogo de carne moída (proteína texturizada de soja em grânulos e temperada) e o hambúrguer de soja (produto isento de carne e à base de soja, tipo hambúrguer), atenderia não só a consumidores veganos e vegetarianos, mas também àqueles que consomem carne e buscam nos produtos à base de soja uma alternativa saudável para alimentação.

Desta maneira, o desenvolvimento de uma proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de tiamina é uma inovação de extrema relevância para o mercado de proteínas vegetais texturizadas.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Desenvolver proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de tiamina e aplicá-la em produtos à base de proteína texturizada de soja.

Objetivos específicos

Extrusar a proteína concentrada de soja adicionada de tiamina em diferentes condições das variáveis independentes, umidade da matéria-prima, temperatura de processo e velocidade de rotação da rosca, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta.

Avaliar o efeito das variáveis independentes nas características de processo, nas propriedades físicas e funcionais, características sensoriais e no teor dos principais compostos voláteis presentes nos extrusados.

Aplicar a proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne no preparo de análogo de carne, avaliar as propriedades físicas e a aceitação e perfil sensoriais dos produtos.

Aplicar a proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne como ingrediente na formulação de hambúrguer de soja, avaliar as propriedades físicas e a aceitação e perfil sensoriais dos produtos.

ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho foi organizado em três capítulos para melhor distribuição e entendimento do conteúdo.

Capítulo 1: Revisão bibliográfica geral.

Trata-se de uma revisão da literatura sobre os principais temas abordados nesta Tese.

Capítulo 2: Desenvolvimento de proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de tiamina.

Este capítulo aborda dois delineamentos experimentais, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta, a fim de se obter proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne e também verificar efeitos das condições de extrusão sobre as propriedades físicas e funcionais, características sensoriais e teor de compostos voláteis nos extrusados.

Capítulo 3: Elaboração de produtos à base de proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne.

O capítulo 3 aborda a aplicação de algumas das proteínas texturizadas de soja com odor e sabor de carne, desenvolvidas anteriormente, no preparo de dois produtos: ‘análogo de carne’ e ‘hambúrguer de soja’. Os produtos obtidos foram analisados quanto às suas propriedades físicas e características sensoriais.

E após o Capítulo 3, é apresentado um item a respeito da Conclusão Geral da Tese. Além disso, no Apêndice 1 está relatado o “Estudo para definição da matéria-prima, parâmetros de extrusão e precursor de odor e sabor de carne para início do trabalho”.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

1. EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA

A extrusão termoplástica é um processo HTST (*High Temperature - Short Time*) largamente utilizado na indústria de alimentos, que apresenta como vantagens a versatilidade, alta produtividade, baixo custo e eficiência energética. Sua aplicação é bastante ampla, sendo utilizada na produção de alimentos prontos para consumo, como cereais matinais (AKDOGAN, 1999), *snacks* e ração animal (seca ou semiúmida), na obtenção de proteínas vegetais texturizadas (LIN; HUFF; HSIEH, 2002) e produtos de confeitaria, como os caramelos, balas tipo puxa-puxa e tipo alcaçuz, ou ainda na criação de propriedades únicas em ingredientes alimentícios, como amidos pré-gelatinizados e gomas modificadas (HARPER, 1989).

Neste processo, a matéria-prima previamente hidratada é introduzida em um funil de alimentação e conduzida por uma ou duas roscas ao longo do canhão. Durante esse caminho, o material é submetido à temperatura e força de cisalhamento elevadas, promovendo alterações na sua estrutura, como a desnaturação da proteína e a gelatinização do amido, transformando o material em uma massa plástica semissólida. No momento da saída da massa da extrusora, a repentina queda da pressão interna (3-5 MPa ou 40-60 atm) para pressão atmosférica causa a evaporação da água superaquecida, formando vacúolos e expandindo o material. Nesta fase final, o vapor atua como agente de crescimento, fazendo com que o material se expanda na direção longitudinal e radial, e endureça rapidamente à temperatura ambiente, conferindo a textura desejada ao produto (ARÊAS, 1992; FELLOWS, 2006; SINGH; WAKELING; GAMLATH, 2007). Trata-se, portanto, de uma tecnologia caracterizada pelos processos de cozimento contínuo, mistura e formatação do material e pela produção de material expandido direto com alta qualidade (BISHARAT et al., 2013), que utiliza uma extrusora como equipamento.

Quanto ao sistema de construção, a extrusora pode ser classificada como extrusora de rosca única ou extrusora de dupla rosca. De uma forma geral, a área de extrusão destes equipamentos apresenta três seções: 1) alimentação, que recebe o material a ser extrusado; 2) transição, onde o material é misturado e inicia-se o seu processo de transformação; 3) fusão/transformação, onde ocorrem as alterações físico-químicas no material. As extrusoras

de rosca única têm custos de investimentos e operação mais baixos e requerem menos habilidade para operar (FELLOWS, 2006), se comparadas as de dupla rosca. Em geral, as extrusoras de rosca única são utilizadas para extrusão de material com umidade menor que 40% em base seca, enquanto as extrusoras de dupla rosca atendem uma faixa de umidade mais ampla, de 6 a 80%. A extrusora de dupla rosca possui uma capacidade superior de transporte de massa e maior eficiência na mistura, sendo mais efetiva na distribuição de calor no interior da massa (HARPER, 1989). O transporte da massa pela dupla rosca ocorre em grandes quantidades, empurrando o material de uma rosca para outra, que faz o transporte ser mais eficiente. Por outro lado, em extrusoras de rosca única ocorre um fluxo de arraste com ação de bombeamento para frente em função da rotação da rosca, no qual a massa é transportada pela fricção entre a camisa (que deve possuir ranhuras) e a massa, e entre a rosca e a massa (AKDOGAN, 1999).

A qualidade do produto final depende das condições de processo, como o tipo de extrusora, teor de umidade do material, perfil de temperatura das zonas de aquecimento da extrusora, velocidade de rotação da rosca, taxa de alimentação do material, além da forma e tamanho da trafilha utilizada (AKDOGAN, 1999; BISHARAT et al., 2013; BRENNAN et al., 2013) na obtenção dos produtos extrusados. Ascheri e Carvalho (2014) descreveram as implicações de algumas das condições de processo: a) um aumento na umidade inicial da matéria-prima leva a um decréscimo da viscosidade da massa que, conseqüentemente, reduz a geração de calor e a pressão do produto na saída da extrusora; b) um aumento na temperatura do processo de extrusão também provoca decréscimo na viscosidade, porém altas temperaturas tendem a causar maiores transformações no material; c) mantida a taxa de alimentação do material na entrada da extrusora, um aumento na velocidade de rotação da rosca leva a um acréscimo na taxa de cisalhamento e um decréscimo do tempo de residência do material no interior da extrusora; d) a trafilha (também chamada de matriz), além de ser responsável pela dimensão e formato final do produto, também tem o importante papel de limitar o fluxo do material, causando um diferencial de pressão necessário para a expansão do produto na saída da extrusora. Neste caso, tanto uma trafilha com abertura reduzida, quanto a utilização de uma sub-trafilha anterior a trafilha, no interior da extrusora, leva a uma maior resistência ao fluxo e ajuda a aumentar a taxa de cisalhamento do material.

Assim, são inúmeras as possibilidades de ajustes e condições de processo a serem levadas em consideração para a extrusão de uma matéria-prima, já que um diferente grau de cozimento e/ou transformação do material levam a diferentes graus de expansão do produto e de suas características finais. Isso vale tanto para matérias-primas amiláceas como proteicas.

2. EXTRUSÃO DE MATERIAIS PROTEICOS

Durante a extrusão, as proteínas são desdobradas, realinhadas, hidrolisadas e desnaturadas, resultando na formação de matrizes complexas com o grau de expansão dependente da concentração de proteína. Uma massa plástica proteica é formada e o fluxo laminar existe por todo o comprimento da rosca, o que é necessário para atingir a textura adequada. A variação da velocidade e das forças de cisalhamento desenvolvida nas zonas periféricas permite a orientação e o alinhamento das macromoléculas desdobradas de proteína e resulta na formação de camadas paralelas de grande comprimento. No interior da extrusora, o material proteico submetido a altas forças de cisalhamento, pressão e temperatura, tem sua estrutura rompida, favorecendo a ocorrência de reações de ligações cruzadas e a diminuição da solubilidade (AKDOGAN, 1999), e, juntamente com a diferença de pressão que incide sobre o material na saída da extrusora, formam a estrutura característica do produto extrusado.

Alterações nas condições de extrusão possuem diversos efeitos nos produtos finais. Interações proteína-proteína podem ser aumentadas pela diminuição da temperatura e pelo alinhamento macromolecular, que conferem uma estrutura rígida ao produto, levando a formação de fibras paralelas de variados comprimentos e espessuras. Uma grande variação da energia de interação é possível na ligação entre proteínas e outras moléculas devido à diversidade de aminoácidos. Desta forma, além das ligações dissulfeto, as interações eletrostáticas e outras ligações covalentes contribuem para a estabilização da estrutura tridimensional formada após a extrusão (ARÊAS, 1992; DAY; SWANSON, 2013). Ainda de acordo com Arêas (1992), a temperatura de fusão do material é um fator crítico nas reações de ligação da proteína, em que um aumento de 140 para 180 °C resultou na redução de pontes dissulfeto formadas na extrusão de proteína isolada de soja.

Para ocorrer a plasticização da proteína em teores de umidade abaixo de 60%, altas temperaturas devem ser utilizadas, sendo ainda necessário um tempo de residência acima de 150 segundos. Roscas com alta razão comprimento/diâmetro, bem como uma redução da velocidade de rotação da rosca e da taxa de alimentação do material durante a extrusão, são recursos que podem ser utilizados para aumentar o tempo de residência do material dentro da extrusora (AKDOGAN, 1999).

Numa mesma temperatura, material com maior teor de umidade resulta em extrusados mais moles e menos texturizados devido à redução das interações proteína-proteína e à baixa viscosidade, já o material com menor teor de umidade e maior temperatura de extrusão resulta em melhores texturas (AKDOGAN, 1999).

O pH alcalino e ácido do material reduzem drasticamente a força de ligação da estrutura dos extrusados, sendo a máxima força obtida em pH neutro (NOGUCHI, 1989). O tipo de proteína também pode influenciar na texturização, sendo mais fácil extrusar e texturizar proteína concentrada de soja comparada à proteína isolada de soja, sob as mesmas condições de extrusão, pois a proteína concentrada de soja apresenta uma estrutura anisotrópica com camadas e fibras grossas na direção do fluxo através da trafiladora (CHEFTEL; KITAGAWA; QUEGUINER, 1992).

Além do tipo de proteína, a adição de ingredientes ao material proteico pode influenciar na texturização do material. Alguns polissacarídeos, como amido e maltodextrinas, formam uma fase separada que surge para melhorar o fluxo da proteína no sentido da extrusão e reduzir no sentido perpendicular à extrusão. Por outro lado, a presença de lipídeos prejudica a formação de fibras, uma vez que seu efeito lubrificante diminui os efeitos do cisalhamento e o alinhamento da estrutura (AKDOGAN, 1999).

De acordo com Day e Swanson (2013), a concentração de proteína, o teor de umidade e os parâmetros físicos e mecânicos da extrusora afetam significativamente as qualidades físicas e sensoriais dos extrusados. E, segundo Akdogan (1999), a diminuição do diâmetro da trafiladora aumenta a tensão de cisalhamento do material na parede da trafiladora, causando o rompimento da estrutura proteica. Por outro lado, uma abertura maior gera extrusados mais resistentes e regulares com maior força transversal e longitudinal.

Dentre os materiais proteicos utilizados para extrusão, a soja tem grande destaque por meio da utilização da farinha desengordurada de soja, da proteína concentrada de soja e da proteína isolada de soja.

3. SOJA

O Brasil é o segundo maior produtor de soja (*Glycine max*), com uma produção estimada em torno de 112 milhões de toneladas (CONAB, 2018), atrás apenas dos Estados Unidos, com estimativa de produzir 119 milhões de toneladas do grão, na safra 2017/2018 (USDA, 2018). Mas, o Brasil vem há anos liderando as exportações do grão e, segundo o USDA (2018) e a CONAB (2018), há uma expectativa de o Brasil exportar uma média de 68 milhões de toneladas do grão na safra atual. Com relação ao farelo de soja, que é uma das formas processada do grão, o Brasil é o quarto maior produtor (média de 32,5 milhões de toneladas) e também o quarto maior consumidor (média de 17,5 milhões de toneladas), sendo

que esses números cresceram mais de 35% nos últimos dez anos (USDA, 2018). Estes dados traduzem, portanto, a importância da soja tanto na economia brasileira como também na crescente demanda deste alimento pela população mundial.

O consumo de alimentos considerados funcionais, aos quais se atribuem comprovados efeitos metabólicos positivos e redução de doenças, vem ganhando popularidade nos últimos anos e, neste contexto, a soja é fonte de vários componentes de ação funcional, como os associados à ação antioxidante (compostos fenólicos, isoflavonas e ácido fítico). Neste contexto, o FDA (*Food and Drug Administration*), órgão norte-americano que regulamenta alimentos e medicamentos, autorizou os fabricantes a adicionarem no rótulo de alimentos em que a soja está presente uma alegação de saúde (*health claim*), afirmando que o consumo dessa leguminosa traz benefícios como prevenção de doenças cardiovasculares e osteoporose e ameniza os sintomas da menopausa (FDA, 2018).

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) também estabeleceu diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos (BRASIL, 1999). Para produtos previamente aprovados nos termos da lei pela ANVISA, um texto com a alegação “O consumo diário de no mínimo 25 g de proteína de soja pode ajudar a reduzir o colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis” pode ser utilizado na rotulagem de proteína de soja (ANVISA, 2018), desde que comprovado este efeito por meio de uma série de evidências científicas.

A soja é tradicionalmente consumida pela população oriental como leite de soja, tofu e produtos fermentados. Já nas nações ocidentais, a proteína de soja é a proteína vegetal mais utilizada como ingrediente em formulação de alimentos processados. Um crescimento na substituição da proteína cárnea por proteínas vegetais foi observado no mercado Halal e Kosher por questões religiosas, e também na Europa com o aparecimento da doença da vaca louca. Por outro lado, outros aspectos levaram a um aumento da utilização de proteínas vegetais na dieta como: o preço menor das proteínas vegetais se comparadas às proteínas de origem animal, a escassez da proteína animal em países pouco desenvolvidos, estilos de vida como vegetarianismo e veganismo e a influência de movimentos relacionados ao bem-estar animal. Aliado a forte demanda por alimentos saudáveis (livre de colesterol e baixo teor de gordura saturada), produtos de soja trazem benefícios para a saúde por causa do seu alto teor de ácidos graxos poli-insaturados, fibras, minerais (sódio, potássio, fósforo, ferro, magnésio, zinco e cálcio) e vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, ácido nicotínico e ácido ascórbico), baixo teor de ácidos graxos saturados e por ser fonte de proteína de alta qualidade devido à

composição balanceada de seus aminoácidos e ao alto teor de lisina, que é um aminoácido essencial limitante na maioria dos cereais (ASGAR et al., 2010).

A soja também é conhecida por ser uma rica fonte de lipoxigenases, que se constituem em três isoenzimas principais, e de ácidos graxos poli-insaturados, predominando o ácido linoleico (C18:2) e o ácido linolênico (C18:3). A ação destas enzimas sobre os ácidos graxos poli-insaturados leva a formação de compostos voláteis associados a aromas indesejáveis (KATAYAMA; WILSON, 2008; LUSAS; RHEE, 1995; YANG et al., 2016), característicos da soja e conhecidos como *beany flavor*.

O termo funcionalidade pode ser definido como quaisquer propriedades que não sejam os atributos nutritivos que influenciam a utilização de um ingrediente em um alimento, afetando, em geral, as características sensoriais dos alimentos. As propriedades funcionais mais importantes das proteínas da soja em sistemas alimentícios são a capacidade de formação de gel e textura (propriedades relacionadas com as interações proteína-proteína); absorção, retenção e solubilidade em água (propriedades de hidratação, ou seja, dependem das interações com a água); e tensão superficial, absorção de gordura e emulsificação (propriedades de superfície) (REGITANO-D'ARCE, 2006).

As proteínas da soja são compostas principalmente por proteínas globulares (aproximadamente 70%), as globulinas 11S (glicinina) e 7S (β -conglucina), que juntas têm um papel importante na funcionalidade dos alimentos (ASGAR et al., 2010; CHEN et al., 2011). A 100 °C, a glicinina forma um gel duro, turbido e inelástico, enquanto que a β -conglucina forma um gel macio, transparente e elástico. A glicinina é mais estável termicamente que a β -conglucina, porém as habilidades emulsificantes e de estabilidade da emulsão da glicinina são mais fracas que da β -conglucina (ASGAR et al., 2010). O bom balanço de aminoácidos essenciais, e predominantemente polares, faz com que os produtos de soja tenham boa solubilidade por uma ampla faixa de pH. Desta maneira, os ingredientes de proteína de soja apresentam excelente funcionalidade, apropriada para aplicação em alimentos e aceitação do consumidor (ASGAR et al., 2010; REGITANO-D'ARCE, 2006).

Dentre as proteínas de soja mais comumente utilizadas como substitutas de proteína da carne pela indústria de alimentos, estão a proteína concentrada de soja, a proteína isolada de soja ou ainda a proteína texturizada extrusada (CONTI-SILVA; SILVA; ARÊAS, 2011).

4. PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA

A texturização é a transformação de uma proteína do estado globular para uma estrutura fibrosa que se assemelha às características sensoriais da carne, durante o processo de extrusão. Propriedades sensoriais, como mastigabilidade, elasticidade, maciez e suculência, são esperadas para esses produtos (DAMODARAN, 2010). Por isso, a proteína texturizada de soja é um importante produto utilizado em alimentos ou na indústria alimentícia devido à sua textura mastigável quando hidratada e cozida (ASGAR et al., 2010), à aparência de carne e ao seu valor nutricional (AKDOGAN, 1999; FANG; ZHANG; WEI, 2014).

A proteína texturizada de soja se refere à farinha desengordurada de soja, proteína concentrada ou isolada de soja que é mecanicamente processada por uma extrusora. Porém, Asgar et al. (2010) relataram que, para a produção de proteína texturizada de soja, a farinha de soja e a proteína concentrada de soja têm sido as principais matérias-primas utilizadas, do ponto de vista comercial, sendo que para a texturização do material, um alto índice de solubilidade proteica (> 60%) é desejável (DAMODARAN, 2010; REGITANO-D'ARCE, 2006).

A farinha desengordurada de soja possui uma composição média aproximada de 56 a 59% de proteína bruta (N x 6,25) em base seca, 0,5 a 1,0% de lipídeos, 2,5 a 3,5 de fibras alimentares, 5 a 6% de cinzas, 6 a 8% de umidade e 30 a 32% de carboidratos disponíveis (por diferença). Já a proteína concentrada de soja apresenta uma composição média aproximada de: 65 a 72% de proteína bruta (N x 6,25) em base seca, 0,5 a 1,0% de lipídeos, 3,4 a 4,8% de fibras alimentares, 3,8 a 6,2% de cinzas, 4 a 6% de umidade e 19 a 21% de carboidratos disponíveis (por diferença) (LUSAS; RHEE, 1995; REGITANO-D'ARCE, 2006).

A proteína texturizada de soja, depois de hidratada, pode ser adicionada a um produto cárneo como um ingrediente (extensor cárneo) ou pode ser consumida diretamente (análogo de carne). Como extensor cárneo, a proteína texturizada de soja não possui similaridade com a carne em aparência, textura ou mastigação, porém é misturada com a carne para melhorar as propriedades gerais do produto formulado (ASGAR et al., 2010) como, por exemplo, a redução do encolhimento e da perda de água durante o preparo (cozimento) do produto pelo consumidor (NOGUCHI, 1989). Quando hidratada, pode ser misturada com a carne bovina moída, não afetando a aparência, a estrutura fibrosa e a mastigabilidade do produto quando cozido, e pode substituir até 20% da carne bovina em produtos como patês, sem necessidade de ajustes de sabor, e em enlatados para conferir firmeza, melhor retenção de gordura e

melhor sabor (REGITANO-D'ARCE, 2006). Por outro lado, como análogo de carne, a proteína texturizada de soja é consideravelmente similar à carne no que diz respeito à aparência, cor, sabor e textura, quando hidratada e cozida (ASGAR et al., 2010).

Os extensores cárneos podem ser encontrados em forma de flocos (< 2 mm), pedaços pequenos (> 2 mm) e pedaços grandes (15 a 20 mm) e podem absorver de 2,5 a 5 vezes o seu peso original em água. Eles são frequentemente utilizados como alternativa de agentes geleificantes em produtos cárneos cominuídos, aprimorando as propriedades de ligação com a água para melhorar o rendimento e a textura dos produtos. Os análogos de carne podem ser obtidos em diferentes tamanhos que podem variar de 6 a 20 mm e podem absorver até três vezes o seu peso original em água quando cozidos em água por pelo menos 15 minutos (ASGAR et al., 2010).

Além da texturização da proteína, Asgar et al. (2010) apontaram outros benefícios que podem ser alcançados pela extrusão, como a desnaturação da proteína e inativação dos inibidores de tripsina (fator antinutricional), além do controle do gosto amargo característico dos produtos à base de soja. Porém, o principal problema que limita tanto o consumo da proteína texturizada de soja hidratada como a sua incorporação nas formulações é o sabor indesejável (*off-flavor*), atribuído à presença das lipoxigenases e das isoflavonas. Uma alternativa para melhorar a aceitação do produto é a utilização de novas cultivares de soja sem a presença de todas ou algumas das lipoxigenases (YANG et al., 2016) na produção de derivados de soja. Porém, haverá o efeito da presença das isoflavonas e, por isso, outra alternativa é a aromatização do extrusados.

Katayama e Wilson (2008) relataram que *snacks* de soja com aroma e sabor de frango, preparados pós-extrusão por meio de imersão do extrusado em solução aquosa de aroma, seguido de resfriamento e fritura em óleo, apresentaram boa aceitação pelos consumidores. No entanto, assim como os *snacks* comerciais à base de milho e de trigo, a utilização de um veículo lipídico foi utilizada para aromatização dos extrusados, aumentando o teor lipídico e o valor calórico do produto. Assim, a aromatização pré-extrusão da matéria-prima por meio da adição de precursores de aroma é uma possibilidade bastante interessante.

5. PRECURSORES DE AROMA DE CARNE

A forma convencional utilizada pela indústria de alimentos para aromatização de produtos extrusados prontos para o consumo é pós-extrusão, no qual o aromatizante comercial é misturado à gordura vegetal hidrogenada ou óleo e, em seguida, aspergido sobre o extrusado. Devido ao elevado teor lipídico e valor calórico dos extrusados resultantes do processo convencional de aromatização, a aromatização pré-extrusão vem sendo estudada visando à diminuição do emprego de óleo ou gordura vegetal hidrogenada, permitindo a produção de extrusados menos calóricos e com melhor apelo à saúde (CONTI-SILVA; BASTOS; ARÊAS, 2012; MENIS et al., 2013; MILANI et al., 2014). Entretanto, as rigorosas condições do processo podem causar perda de compostos voláteis e, por isso, tentativas de melhorar a retenção do aroma durante a extrusão têm sido relatadas, como o uso de amido pré-gelatinizado, injeção de aroma, aromas encapsulados e precursores de aroma (BHANDARI; D'ARCY; YOUNG, 2001; YULIANI et al., 2004). Segundo Bhandari, D'arcy e Young (2001), os principais fatores que afetam a retenção de aroma e sabor durante o processo de extrusão são: (1) diferencial de pressão que resulta na expansão dos extrusados e evaporação rápida do vapor e dos compostos voláteis, (2) volatilidade relativa dos compostos voláteis e suas termodinâmicas, (3) difusividade dos compostos voláteis através da massa e do extrusado, (4) interação entre compostos voláteis e os constituintes da massa e (5) decomposição térmica, oxidação e polimerização dos compostos voláteis.

Os precursores de aroma desempenham um papel importante no processo de geração do aroma durante processamentos térmicos. Como exemplo, a reação de Maillard entre os açúcares redutores e os aminoácidos é conhecida por gerar aromas semelhantes aos dos alimentos cozidos (BAEK et al., 2001). O aroma característico de carne é desenvolvido durante o processamento térmico, visto que a carne crua possui apenas aroma semelhante a sangue/metálico. Entre os precursores não voláteis de aromas cárneos estão os aminoácidos, peptídeos, açúcares redutores, açúcares aminados, glicogênio, ácidos nucleicos, nucleotídeos, nucleosídeos, aminas, lipídeos e micronutrientes como vitaminas. Interações e/ou quebra dessas substâncias produzem um grande número de moléculas intermediárias e/ou voláteis propriamente ditos que contribuem para o desenvolvimento e geração de aromas durante processos térmicos (MACLEOD, 1998; MAGA, 1989; MANLEY; AHMEDI, 1995).

De acordo com Baek et al. (2001), aroma de processo é definido como um grupo de aromas ou ingredientes aromatizantes que são produzidos a partir de precursores por meio de algumas técnicas de processamento, como por exemplo, o processamento térmico. A adição

de precursores durante a extrusão, bem como os parâmetros do processo, afetam as características de qualidade do produto final.

Snacks de batata obtidos pela adição pré-extrusão de 0,25, 0,5 e 1% (m/m) dos precursores de aroma cisteína e cistina foram analisados por olfatométrica, e os resultados mostraram que a cisteína pode ser um precursor mais reativo que a cistina, estimulando a formação de compostos com notas de aroma de alho, queimado, pungente, cerveja, carne, pipoca e tostado (MAJCHER; JELEŇ, 2005).

Na extrusão de proteína de soja hidrolisada enzimaticamente, adicionada de aminoácidos (L-alanina, L-cistina e metionina), frutose, tiamina, sebo bovino, ácidos orgânicos e realçadores de sabor, os compostos de aroma ativo dos extrusados obtidos foram avaliados utilizando a técnica *Aroma Extract Dilution Analysis* (AEDA). O composto 2-metil-3-furantiol foi o composto volátil mais intenso (maior fator de diluição de aroma) detectado, apresentando notas de aroma de arroz cozido, aroma semelhante à vitamina (*vitamin-like*) e aroma de carne. Este composto pode ser obtido pela degradação térmica da tiamina ou pela reação de Maillard entre a ribose e cisteína (BAEK et al., 2001).

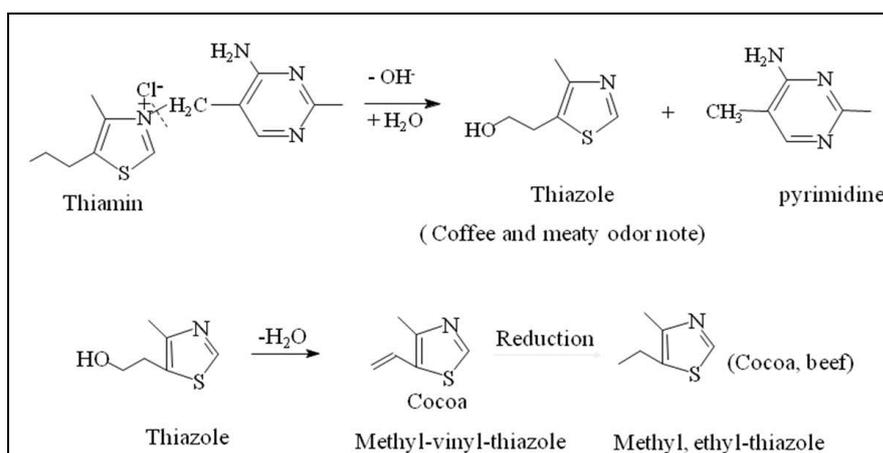
Apesar dos trabalhos citados, observa-se a falta de trabalhos que foquem a aplicação de precursores de aroma para o desenvolvimento de aroma e sabor de carne por meio do processo de extrusão. Além disso, também são poucos os que investigaram o efeito das condições de extrusão na produção e retenção de compostos voláteis e aroma em proteínas texturizadas de soja. Milani et al. (2014) verificaram que a retenção de compostos voláteis (isovaleraldeído e butirato de etila) em extrusados de proteína isolada de soja foi maior em menor umidade da matéria-prima (30% em base seca) e maior temperatura de extrusão (170 °C).

Muitos compostos aromatizantes podem ser formados por dois ou mais possíveis mecanismos. Por exemplo, os furantióis, que contribuem para o odor de carne, podem ser formados pela reação de cisteína e ribose, cisteína e inosina 5'-monofostato (IMP) e pela degradação da tiamina. A tiamina (vitamina B₁) é um importante precursor de vários compostos sulfurados, como o 5-hidroxi-3-mercapto-2-pentanona, que por sua vez é um intermediário para a formação de muitos tióis odoríferos, como o 2-metil-4,5-dihidro-3-furantiol, 2-metil-3-furantiol e mercaptocetonas (ALIANI; FARMER, 2005). Aliani e Farmer (2005) também observaram que a adição de tiamina na concentração de 340 mg para 100 g de peito de frango (aproximadamente 1500 vezes mais que a concentração natural de tiamina no peito de frango) resultou num aumento acentuado dos odores de assado e sopa de vegetais. Além disso, a degradação da tiamina foi considerada a principal via de formação do composto

2-metil-3-furantiol, resultante da ciclização direta do 5-hidroxi-3-mercaptopentan-2-ona, e mostrou-se um importante composto volátil de destaque em carne cozida, apresentando um odor com baixo valor de liminar de detecção (0,005 – 0,01 ppb) (BAEK et al., 2001).

A tiamina é uma vitamina hidrossolúvel, cuja deficiência primária é considerada rara, embora possa ser encontrada em populações cuja alimentação é rica em carboidratos, em alcoolistas, pacientes submetidos à nutrição parenteral, portadores de má absorção intestinal (incluindo as cirurgias bariátricas disabsortivas) e indivíduos sob tratamento dialítico (VANNUCCHI; CUNHA, 2009). Essa vitamina é muito susceptível à degradação térmica, cuja perda durante o processamento está relacionada a fatores, como: tempo e temperatura de processamento, tipo de aquecimento, pH e presença de outros ingredientes (RESCONI; ESCUDERO; CAMPO, 2013). A degradação térmica da tiamina é uma reação bastante complexa, incluindo outras transformações intermediárias, que produz diversos compostos em estruturas heterocíclicas, sendo que a maioria deles contém enxofre e/ou nitrogênio (BA et al., 2012), conforme o exemplo ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Degradação térmica da tiamina sob condições básicas.



Fonte: Ba et al. (2012).

O mercado de proteínas vegetais texturizadas aromatizadas ainda é bastante restrito. Após pesquisa realizada com as empresas brasileiras produtoras de proteína texturizada de soja, foi encontrada apenas uma que produz “proteínas saborizadas”, sendo essa aromatização/saborização feita pós-extrusão. Este método de aromatização resultou em um aumento de 0 g para 5 g na quantidade de gorduras totais (em uma porção de 50 g) na “proteína saborizada” em relação à “proteína não saborizada”, por meio das informações nutricionais descritas nos rótulos (ZONA CEREALISTA, 2018). Por isso, uma inovação

muito interessante para o mercado das proteínas vegetais texturizadas é a utilização de precursores durante o processo de extrusão para o desenvolvimento de odor e sabor de carne.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtos derivados de soja vêm ganhando importância na alimentação humana pela presença de compostos bioativos em sua composição, que proporcionam diversos benefícios à saúde. Porém, seu consumo ainda é restrito devido, principalmente, às características sensoriais indesejáveis do produto. Neste contexto, um alimento popular derivado de soja, como a proteína texturizada de soja, com odor e sabor de carne obtida pela adição pré-extrusão de tiamina, poderá se revelar um alimento com características sensoriais aceitáveis e que não comprometerá o valor nutricional e as características naturais (*clean label*) do produto final. Porém, a obtenção de aroma pelo processo de extrusão é um desafio, uma vez que a degradação térmica e as transformações do material devem ocorrer num curto período de tempo que, por sua vez, deve ser suficiente para garantir a degradação térmica da tiamina, para obter o odor e sabor de carne, e também para obter características desejadas de um produto extrusado de soja, como alta capacidade de retenção de água e baixa solubilidade proteica.

REFERÊNCIAS

AKDOGAN, H. High moisture food extrusion. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 34, p. 195–207, 1999.

ALIANI, M.; FARMER, L. J. Precursors of chicken flavor. II. Identification of key flavor precursors using sensory methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 16, p. 6455–6462, 2005.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/alimentos/alegacoes>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

ARÊAS, J. A. G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 4, p. 365–392, 1992.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Tecnologia de extrusão: uma ferramenta para o desenvolvimento de produtos. In: KUROZAWA, L. E.; COSTA, S. R. R. (Eds.). **Tendências e inovações em ciência, tecnologia e engenharia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 2014. p. 299.

ASGAR, M. A. et al. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 5, p. 513–529, 2010.

BA, H. V et al. Principle of meat aroma flavors and future prospect. In: AKYAR, I. (Ed.). **Latest research into quality control**. [s.l.] InTech, 2012.

BAEK, H. H. et al. Aroma extract dilution analysis of a beeflike process flavor from extruded enzyme-hydrolyzed soybean protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 790–793, 2001.

BHANDARI, B.; D'ARCY, B.; YOUNG, G. Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 453–461, 2001.

BISHARAT, G. I. et al. Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. **Food Research International**, v. 53, n. 1, p. 1–14, 2013.

BRASIL. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 18 de 30 de abril de 1999. **Diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos**. Brasília, 1999.

BRENNAN, M. A. et al. Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 893–902, 2013.

CHEFTEL, J. C.; KITAGAWA, M.; QUEGUINER, C. New protein texturization processes by extrusion cooking at high moisture levels. **Food Reviews International**, v. 8, n.2, p. 235–275, 1992.

CHEN, L. et al. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 887–897, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quinto levantamento. Quinto levantamento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_02_08_17_09_36_fevereiro_2018.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CONTI-SILVA, A. C.; BASTOS, D. H. M.; ARÊAS, J. A. G. The effects of extrusion conditions and the addition of volatile compounds and flavour enhancers to corn grits on the retention of the volatile compounds and texture of the extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 9, p. 1896–1902, 2012.

CONTI-SILVA, A. C.; SILVA, M. E. M. P.; ARÊAS, J. A. G. Sensory acceptability of raw and extruded bovine rumen protein in processed meat products. **Meat Science**, v. 88, n. 4, p. 652–656, 2011.

DAMODARAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. In: DAMODARAN, SRINIVASAN; PARKIN, KIRK L.; FENNEMA, O. R. (Ed.). **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 900.

DAY, L.; SWANSON, B. G. Functionality of protein-fortified extrudates. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 5, p. 546–564, 2013.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 32–38, 2014.

FDA. Food and Drug Administration. Food Labeling: Health Claims: Soy Protein and Coronary Heart Disease. Disponível em: <www.fda.gov/Food/LabelingNutrition/ucm2006876.htm>. Acesso em 06 jun. 2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2. ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

HARPER, J. M. Food extruders and their applications. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (Eds.). **Extrusion cooking**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p. 471.

KATAYAMA, M.; WILSON, L. A. Utilization of soybeans and their components through the development of textured soy protein foods. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 3, p. 158–164, 2008.

LIN, S.; HUFF, H. E.; HSIEH, F. Extrusion Process Parameters, Sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analog. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1066–1072, 2002.

LUSAS, E. W; RHEE, K. C. Soy protein processing and utilization. In: ERICKSON, D. R. (Ed.). **Practical handbook of soybean processing and utilization**. Champaign: AOCS, 1995. p. 584.

MACLEOD, G. The flavour of beef. In: SHAHIDI, F. (Ed.). **Flavor of meat, meat products and seafoods**. 2. ed. ed. London: Blackie Academic & Professional, 1998. p. 429.

MAGA, J. A. Flavor formation and retention during extrusion. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (Ed.). **Extrusion cooking**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p. 471.

MAJCHER, M. A.; JELEŃ, H. H. Identification of potent odorants formed during the preparation of extruded potato snacks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 16, p. 6432–6437, 2005.

MANLEY, C. H.; AHMEDI, S. The development of process flavors. **Trends in food science and technology**, v. 6, p. 46–51, 1995.

MENIS, M. E. C. et al. Extrusion of flavored corn grits: Structural characteristics, volatile compounds retention and sensory acceptability. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 434–439, 2013.

MILANI, T. M. G. et al. Pre-extrusion aromatization of a soy protein isolate using volatile compounds and flavor enhancers: Effects on physical characteristics, volatile retention and sensory characteristics of extrudates. **Food Research International**, v. 62, p. 375–381, 2014.

NOGUCHI, A. Extrusion cooking of high-moisture protein foods. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (Eds.). **Extrusion cooking**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p. 471.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Produtos protéicos de soja. In: OETTERER, MARÍLIA; REGITANO-D'ARCE, MARISA APARECIDA BISMARA; SPOTO, M. H. F. (Ed.). **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. 1. ed. Barueri: Manole, 2006. p. 612.

RESCONI, V. C.; ESCUDERO, A.; CAMPO, M. M. The development of aromas in ruminant meat. **Molecules**, v. 18, n. 6, p. 6748–6781, 2013.

SINGH, S.; WAKELING, L.; GAMLATH, S. Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 21, p. 8779–8786, 2007.

USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

VANNUCCHI, H.; CUNHA, S. F. C. **Funções plenamente reconhecidas de nutrientes - Vitaminas do complexo B: tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, biotina e ácido pantotênico**. São Paulo: ILSI Brasil, 2009.

YANG, A. et al. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenases. **Food Science and Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 207–215, 2016.

YULIANI, S. et al. Application of Microencapsulated Flavor to Extrusion Product. **Food Reviews International**, v. 20, n. 2, p. 163–185, 2004.

ZONA CEREALISTA. Disponível em: <<https://zonacerealista.com.br/proteina-de-soja-texturizada-moida-sabor-carne-granel-500g.html>> e <<https://zonacerealista.com.br/proteina-de-soja-texturizada-natural-moida.html>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

CAPÍTULO 2

DESENVOLVIMENTO DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA COM ODOR E SABOR DE CARNE POR MEIO DA ADIÇÃO PRÉ-EXTRUSÃO DE TIAMINA

DESENVOLVIMENTO DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA COM ODOR E SABOR DE CARNE POR MEIO DA ADIÇÃO PRÉ- EXTRUSÃO DE TIAMINA

1. INTRODUÇÃO

A proteína texturizada de soja, obtida pelo processo de extrusão termoplástica, é um alimento popular entre os produtos vegetarianos, podendo substituir parcial ou integralmente a proteína animal, especialmente as de produtos cárneos. Por apresentar características de textura similares às da carne, a proteína texturizada de soja é utilizada tanto como análogo de carne como extensor cárneo (ASGAR et al., 2010; LAI et al., 2017). O primeiro é consumido diretamente, após hidratação e cozimento, enquanto que o segundo é aplicado como ingrediente, misturado à carne para processamento posterior a fim de melhorar as características funcionais, além de possibilitar uma redução de custo do produto final (ASGAR et al., 2010; CARVALHO et al., 2017). Por isso, Lai et al. (2017) apontam algumas vantagens da proteína texturizada de soja em relação à carne, como menor custo, maior estabilidade de conservação, apresentar quase zero teor de gordura e, por ser vegetal, apresentar zero teor de colesterol.

O consumo de produtos de soja também vem ganhando espaço pelos benefícios relacionados à saúde e ao seu alto valor nutricional (ASGAR et al., 2010; DAMODARAN; ARORA, 2013; DE MESA et al., 2009; REGITANO-D'ARCE, 2006; YANG et al., 2016; YU; RAMASWAMY; BOYE, 2012). Entretanto, sua utilização tem sido limitada devido ao sabor desagradável (*off-flavor*), atribuído principalmente à oxidação de lipídeos poli-insaturados, causada pela lipoxigenase presente na soja (DAMODARAN; ARORA, 2013; KATAYAMA; WILSON, 2008; YANG et al., 2016). Segundo Lin, Huff e Hsieh (2002), a textura e as características sensoriais da proteína texturizada de soja são qualidades importantes para a aceitação do consumidor. Desta maneira, a aromatização da proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne é uma alternativa para atender esse mercado consumidor.

Dentre os métodos de aromatização de produtos extrusados, o convencional (pós-extrusão) leva a um aumento da quantidade de lipídeos no produto final devido à aplicação do aroma por meio de um veículo oleoso. Por isso, vários estudos foram conduzidos a fim de

encontrar caminhos viáveis para a metodologia de aromatização pré-extrusão, considerando as condições de altas temperaturas e pressão utilizadas durante o processo de extrusão (CONTI-SILVA; BASTOS; ARÊAS, 2012; MENIS et al., 2013; MILANI et al., 2014; REIFSTECK; JEON, 2000; YULIANI et al., 2004, 2006a, 2006b; YULIANI; TORLEY; BHANDARI, 2009). A mistura de precursores de aroma à matéria-prima a ser extrusada é uma técnica de aromatização pré-extrusão.

A degradação térmica da tiamina, ou vitamina B₁, foi associada ao desenvolvimento de aromas que caracterizam diferentes notas de carne (ALIANI; FARMER, 2005; BA et al., 2012; BAEK et al., 2001; MAJCHER; JELEŃ, 2005; RESCONI; ESCUDERO; CAMPO, 2013; SONG et al., 2010; TANG et al., 2013; VARAVINIT et al., 2000) e por isso é considerada um importante precursor de aroma de carne em produtos submetidos a altas temperaturas durante o processamento. No entanto, precursores de aroma adicionados durante a extrusão, assim como os parâmetros do processo, podem afetar as características de qualidade do produto final, como características de textura e estrutura (BAEK et al., 2001) e, por isso, torna-se relevante a investigação do efeito das condições de extrusão sobre as características dos extrusados.

Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de tiamina, bem como avaliar os efeitos das condições de extrusão nas características de processo, propriedades físicas e funcionais, características sensoriais, e o teor de compostos voláteis nos extrusados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

A proteína concentrada de soja (PCS), Arcon® SM, foi fornecida pela ADM Foods & Wellness (Decatur/IL, Estados Unidos) com as seguintes especificações: mínimo de 70% de proteína (base seca), máximo de 3% de lipídeos, máximo de 20% e 5% de fibras alimentares e cinzas, respectivamente; índice de proteína dispersável (IPD) de, no mínimo, 60%; e formação de emulsão com uma parte de proteína para cinco partes de água e cinco partes de óleo. Sua granulometria era de no máximo de 10% dos grânulos retidos em peneira com abertura de 0,149 mm.

A tiamina (vitamina B₁), que foi empregada como precursor de aroma de carne, foi adquirida da Sigma-Aldrich Ltda. (Milwaukee, USA), na forma de hidrocloreto de tiamina (pureza ≥ 99%).

Para a avaliação do tempo de residência de extrusão foi empregado corante natural de carmim (PA Carmim Pó), que não influencia no odor do produto, fornecido pela empresa Corantec Corantes Naturais Ltda. (São Paulo/SP, Brasil).

Para a análise de estabilidade da emulsão foi utilizado óleo de soja, da Cargill Agrícola S.A. (Primavera do Leste/MT, Brasil), adquirido em mercado local.

A definição do precursor de aroma e da matéria-prima foi baseada em testes preliminares que estão apresentados em detalhe no Apêndice 1.

2.2. Ajuste da umidade da proteína concentrada de soja

A umidade inicial da PCS foi determinada pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997). Posteriormente, as umidades foram ajustadas de acordo com os valores necessários para a extrusão, segundo os delineamentos experimentais. A quantidade necessária de água adicionada à matéria-prima (A) para obter materiais com diferentes umidades finais foi calculada utilizando a equação:

$$A = \left[\frac{(100 - U_i) \times U_f}{100} \right] - U_i,$$

sendo U_i e U_f as umidades inicial (base úmida, %) e final (base seca, %) da amostra, respectivamente.

Foi utilizada uma batedeira de bancada (modelo Gastromaq BP 5) da GPaniz Ind. de Equip. p/ Alim. Ltda. (Caxias do Sul/RS, Brasil), de batedor aramado que, contendo a matéria-prima, permaneceu ligada na velocidade mínima. Com o auxílio de um borrifador, água destilada, previamente pesada, foi continuamente aspergida até que toda ela fosse acrescentada ao material. Ao final, a amostra foi acondicionada em saco de polietileno (com 0,2 mm de espessura) e estocada em geladeira (aproximadamente 5 °C) por 2 dias para o equilíbrio da umidade. As umidades dos materiais foram novamente analisadas pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997).

As amostras do material com as unidades ajustadas foram retornadas à temperatura ambiente antes da extrusão.

2.3. Primeiro delineamento experimental

A extrusão foi realizada em uma extrusora com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24) da INBRAMAQ – Indústria de Máquinas Ltda. (Ribeirão Preto/SP, Brasil) (Figura 1). A definição das condições de extrusão foi baseada em testes preliminares que estão apresentados em detalhe no Apêndice 1. Para o primeiro delineamento experimental foram consideradas como variáveis independentes a umidade da PCS (base seca, b.s.), a temperatura de extrusão (temperatura da 5ª zona do canhão) e a velocidade de rotação da rosca (Tabela 1). As demais condições de extrusão foram:

- 3 camisas helicoidais, rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1;
- subtrafila de orifícios de 5,5 mm e trafileira de um orifício de 3,2 mm de diâmetro;
- temperaturas: zona 1 = 30 °C, zona 2 = 60 °C, zona 3 = 80 °C e zona 4 = 15 °C abaixo da temperatura da zona 5;
- velocidade de alimentação: 170 g/min.

Figura 1: Extrusora de rosca única (INBRAMAQ – RXPQ Labor 24).



A PCS foi dividida em 17 porções de 250 g cada, devidamente preparadas com as umidades a serem utilizadas no processo, e acondicionadas em sacos de polietileno. Cada porção foi adicionada de 1,5% de tiamina duas horas antes da extrusão, que foi misturada manualmente com a PCS dentro da própria embalagem. As amostras foram mantidas à temperatura ambiente até o momento da extrusão.

Tabela 1: Primeiro delineamento composto central rotacional.

Ensaio	Ordem de extrusão	X1	X2	X3	U (%)	T (°C)	VR (rpm)
1	2°	-1	-1	-1	30	130	184
2	3°	+1	-1	-1	40	130	184
3	16°	-1	+1	-1	30	170	184
4	14°	+1	+1	-1	40	170	184
5	4°	-1	-1	+1	30	130	237
6	5°	+1	-1	+1	40	130	237
7	13°	-1	+1	+1	30	170	237
8	15°	+1	+1	+1	40	170	237
9	9°	-1,682	0	0	26,6	150	210
10	11°	+1,682	0	0	43,4	150	210
11	1°	0	-1,682	0	35	116	210
12	17°	0	+1,682	0	35	184	210
13	8°	0	0	-1,682	35	150	166
14	10°	0	0	+1,682	35	150	255
15	12°	0	0	0	35	150	210
16	6°	0	0	0	35	150	210
17	7°	0	0	0	35	150	210

X1, X2, X3: variáveis independentes; U: umidade (b.s.) da proteína concentrada de soja; T: temperatura da 5ª zona da extrusora; VR: velocidade de rotação da rosca.

Uma porção de 250 g de proteína concentrada de soja foi preparada para ser extrusada sem adição de tiamina, nas condições do ponto central do delineamento (umidade = 35% b.s., temperatura na zona 5 = 150 °C, velocidade de rotação da rosca = 210 rpm).

Não foi possível aleatorizar a ordem de extrusão dos ensaios durante a realização do delineamento, pois é necessário certo tempo para estabilizar a temperatura da extrusora,

consumindo grande quantidade de material. Por isso, a ordem dos ensaios foi estabelecida da menor temperatura (116 °C) para a maior temperatura (184 °C), porém dentro de cada temperatura a ordem da extrusão foi aleatorizada por sorteio (Tabela 1). Entre as mudanças de temperatura, a extrusão foi realizada com grãos de milho (umidade = 15% em base seca), pois se trata de uma matéria-prima de menor custo se comparada à PCS.

A amostra sem adição de tiamina foi extrusada antes do início da extrusão das amostras do delineamento.

Após a extrusão, os extrusados foram acondicionados em sacos plásticos de polietileno (0,2 mm de espessura), os quais foram selados e armazenados à temperatura ambiente e em local protegido da luz até o momento das análises. Para a análise sensorial, uma porção de extrusado de cada ensaio foi acondicionada em sacos de filme laminado de poliéster, alumínio e polietileno (0,22 mm de espessura), que possuem maior barreira ao aroma, e selados em seladora de pedal (Barbi, Hermet 400). Todo o processo foi realizado seguindo as Boas Práticas de Manipulação (BRASIL, 2004).

Foram consideradas variáveis dependentes no primeiro delineamento: propriedades físicas (razão de expansão, densidade, força de corte do extrusado, força de corte do extrusado hidratado e parâmetros de cor) e características sensoriais (intensidade do odor de carne, intensidade ideal do odor de carne e aceitação do odor de carne).

2.4. Técnica de desejabilidade

A partir dos resultados obtidos no primeiro delineamento experimental (item 3.1), observou-se a necessidade de realização de um segundo delineamento experimental. A literatura (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010) aponta que o caminho máximo de inclinação é uma técnica eficiente para construção de um segundo delineamento experimental; no entanto, essa técnica é viável quando há apenas duas variáveis independentes e uma variável dependente, diferente do primeiro delineamento utilizado neste trabalho. Por isso, foi utilizada a técnica de desejabilidade (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010), que é um método de otimização multivariada, sendo que números entre 0 e 1 são atribuídos para cada variável dependente investigada, sendo 0 um valor inaceitável e 1 o valor mais desejável.

Foram selecionadas estrategicamente as variáveis dependentes razão de expansão, intensidade do odor de carne e intensidade ideal do odor de carne (Tabela 2) para seleção dos

pontos centrais para as variáveis independentes (umidade da matéria-prima, temperatura na 5ª zona e velocidade de rotação da rosca) do segundo delineamento. Para isso, foi utilizada como suporte a função “perfil de desejabilidade de resposta” do programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Oklahoma, EUA).

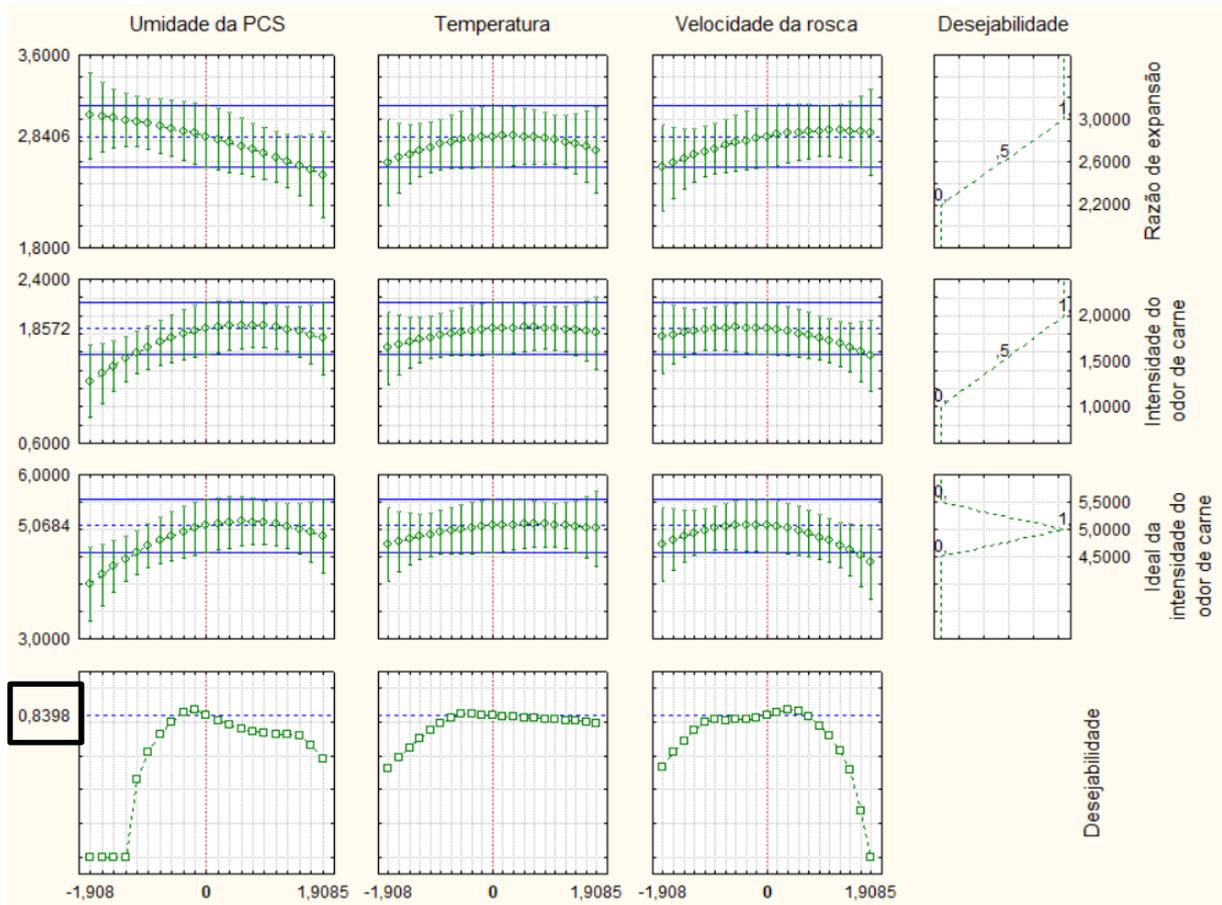
Tabela 2: Especificações das variáveis dependentes para cálculo da função desejável.

Variável	Valor			Desejabilidade		
	baixo	médio	alto	baixa	média	alta
Razão de expansão	2,20	2,60	3,00	0,00	0,50	1,00
Intensidade do odor de carne	1,00	1,50	2,00	0,00	0,50	1,00
Ideal da intensidade do odor de carne	4,50	5,00	5,50	0,00	1,00	0,00

Os valores codificados e reais a serem utilizados como pontos centrais das variáveis independentes (umidade da matéria-prima, temperatura na 5ª zona e velocidade de rotação da rosca) no segundo delineamento experimental, além do módulo de variação para cada variável independente, foram obtidos por meio de perfis para valores previstos e desejabilidade.

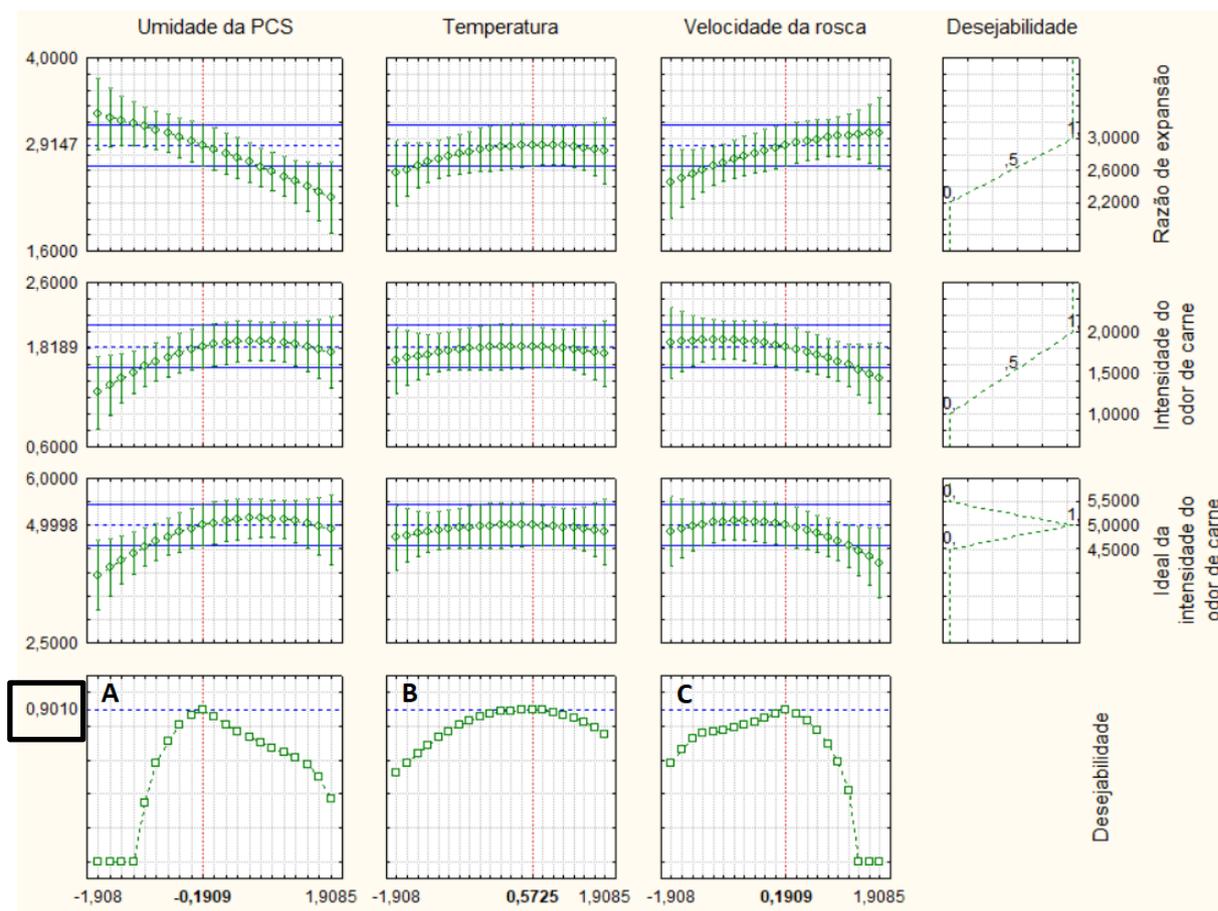
Primeiramente, foram obtidos os perfis de resposta e de desejabilidade para cada variável dependente (Figura 2) em função de cada uma das variáveis independentes utilizadas no primeiro delineamento experimental. Observa-se que a desejabilidade global, que corresponde à média geométrica das desejabilidades individuais (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010), foi de 0,8398.

Figura 2: Perfis para valores previstos e desejabilidade não otimizados.



Porém, para gerar pseudos-componentes, os quais seriam considerados os pontos centrais do segundo delineamento experimental, novos perfis foram gerados, considerando uma otimização dos resultados (Tabela 2), aumentando assim a desejabilidade global para 0,9010 (Figura 3). A otimização simultânea das várias respostas se reduz à maximização de um único valor, a desejabilidade global (BARROS-NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010), que mais próxima de 1 indica maior proximidade das variáveis dos seus valores-alvo.

Figura 3: Perfis para valores previstos e desejabilidade otimizados.



Desta forma, o programa estatístico apresentou os valores de - 0,1909 (umidade da matéria-prima, Figura 3A), + 0,5725 (temperatura na 5ª zona, Figura 3B) e + 0,1909 (velocidade de rotação da rosca, Figura 3C) como sendo o deslocamento ideal das variáveis codificadas de extrusão no ponto central do delineamento. Após os cálculos, os pontos centrais passaram a ser: 34% de umidade (b.s.), 161 °C de temperatura e 216 rpm de velocidade de rotação da rosca (82% da velocidade total da rosca).

Ainda, utilizando o gráfico de desejabilidade otimizada (Figura 3), foram definidos os módulos de variação, buscando não sair da zona desejável de valores. Com relação à umidade, quanto maior o módulo de variação, menor a desejabilidade (Figura 3A). Por outro lado, não é viável se trabalhar com umidades do material muito próxima. Por isso, buscando balancear os fatos, o valor escolhido para o módulo de variação da umidade foi de 4%. Para a temperatura, observou-se que sua variação, dentro dos limites consideráveis para extrusão de produtos proteicos (130 a 180 °C), não prejudicaria a desejabilidade dos resultados (Figura 3B). Por isso, a temperatura de extrusão na 5ª zona deixou de ser uma variável independente no segundo delineamento e foi fixada a 160 °C, conforme Figura 3B. Assim como para a

umidade, uma variação da velocidade de rotação da rosca pode diminuir a desejabilidade dos resultados (Figura 3C), por isso a módulo de variação foi estipulado em 18 rpm, que equivale a 7% da velocidade total da rosca.

2.5. Segundo delineamento experimental

Para o segundo delineamento experimental, foram consideradas variáveis independentes a umidade da PCS (base seca, b.s.) e a velocidade de rotação da rosca (Tabela 3). Foi utilizada a mesma extrusora citada no item 2.3, sendo que as demais condições de extrusão foram:

- 3 camisas helicoidais, rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1;
- subtrafila de orifícios de 5,5 mm e trafilas de um orifício de 3,2 mm de diâmetro;
- temperaturas: zona 1 = 30 °C, zona 2 = 60 °C, zona 3 = 80 °C, zona 4 = 145 °C e zona 5 = 160 °C.
- velocidade de alimentação: 170 g/min.

A PCS foi dividida em 11 porções de 430 g cada, devidamente preparadas com as umidades a serem utilizadas no processo, e acondicionadas em sacos de polietileno. Cada porção foi adicionada de 1,5% de tiamina duas horas antes da extrusão, que foi misturada utilizando uma bateadeira planetária (modelo Premium Professional Eletrônica B-06) da Mondial (Conceição do Jacuípe/BA, Brasil), batendo em velocidade mínima (150 rpm) por um minuto. As amostras foram mantidas à temperatura ambiente até o momento da extrusão.

Uma porção de 430 g de proteína concentrada de soja foi preparada para ser extrusada sem adição de tiamina, nas condições do ponto central do delineamento (umidade = 34% b.s., velocidade de rotação da rosca = 216 rpm).

A ordem de extrusão dos ensaios do delineamento foi aleatorizada (Tabela 3), por meio de sorteio realizado previamente, sendo que a amostra sem adição de tiamina foi extrusada antes do início da extrusão das amostras do delineamento.

Tabela 3: Segundo delineamento composto central rotacional.

Ensaio	Ordem de extrusão	X1	X2	U (%)	VR (rpm)
1	6°	-1	-1	30	198
2	8°	+1	-1	38	198
3	7°	-1	+1	30	234
4	3°	+1	+1	38	234
5	5°	-1,41	0	28,4	216
6	4°	+1,41	0	39,6	216
7	1°	0	-1,41	34	190
8	10°	0	+1,41	34	242
9	2°	0	0	34	216
10	11°	0	0	34	216
11	9°	0	0	34	216

X1, X2: variáveis independentes; U: umidade (b.s.) da proteína concentrada de soja; VR: velocidade de rotação da rosca.

Antes do início da extrusão, 500 g de PCS (34% de umidade em base seca) foram extrusados a fim de estabilizar o funcionamento do equipamento. Além disso, o início e final do lote de cada ensaio foram descartados para evitar extrusados oriundos da mistura de lotes durante a troca de ensaio.

Após a extrusão, os extrusados de PCS (proteína texturizada de soja) foram acondicionados em sacos de filme laminado de poliéster, alumínio e polietileno, que possuem maior barreira ao aroma, os quais foram selados e armazenados à temperatura ambiente e em local protegido da luz até o momento das análises.

Foram consideradas variáveis dependentes neste segundo delineamento: características do processo de extrusão (tempo de residência e amperagem), propriedades físicas (razão de expansão, densidade, força de corte do extrusado, força de corte do extrusado hidratado e parâmetros de cor), propriedades funcionais (capacidade de absorção de água, velocidade de reidratação, índice de desintegração, solubilidade da proteína em água e estabilidade da emulsão), características sensoriais (intensidade do odor de carne, intensidade ideal do odor de carne e aceitação do odor de carne) e o teor de compostos voláteis nos extrusados.

2.6. Avaliação das características de processo dos extrusados

Tempo de residência e amperagem do processo foram avaliados durante a extrusão. Foram feitas três medições do tempo de residência para cada ensaio durante a extrusão, utilizando o corante natural de carmim, sendo a primeira medição logo no início da extrusão do ensaio, a segunda quando aproximadamente metade do material havia sido extrusado e a última no final da extrusão do ensaio. Em cada medição, 0,35 g de corante carmim em pó foi adicionado diretamente ao material que estava no funil de alimentação. Desta forma, verificou-se o tempo gasto entre a entrada do corante na extrusora e a saída de extrusado com o corante.

A amperagem, ou seja, o esforço exercido pelo equipamento no processo de extrusão, foi verificada no painel eletrônico da extrusora e anotada a cada 10 s, sendo coletado um total de 14 dados para cada ensaio.

2.7. Avaliação das propriedades físicas dos extrusados

2.7.1. Razão de expansão

O diâmetro de dez extrusados (d_e), com aproximadamente 50 mm de comprimento, foi medido com o auxílio de um paquímetro digital (Digimess IP54). O diâmetro da trafilada (d_t) era de 3,2 mm e a razão de expansão (RE) foi calculada de acordo com a equação (PARADA; AGUILERA; BRENNAN, 2011):

$$RE = \frac{d_e}{d_t}$$

2.7.2. Densidade

A massa (M) e as dimensões (d = diâmetro e L = comprimento) de dez extrusados com aproximadamente 50 mm de comprimento foram medidas e a densidade (D) de cada extrusado obtida por meio da equação (CHÁVEZ-JÁUREGUI; SILVA; ARÊAS, 2000):

$$D \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} = \frac{4 M}{\pi d^2 L}$$

2.7.3. Força de corte

Utilizando texturômetro TA.XT/Plus/50, e programa Exponent (Stable Micro Systems, Godalming, Inglaterra), foi analisada a força de corte do extrusado seco e hidratado (dez replicatas para cada). As análises foram realizadas utilizando um probe *Warner Bratzler*, velocidade de pré-teste de 2 mm/s e velocidade de teste de 1 mm/s. O corte foi feito perpendicularmente à amostra até sua completa ruptura. Os extrusados foram padronizados com, aproximadamente, 30 mm de comprimento para realização da análise e o pico da força obtida, em Newtons (N), foi considerado como o resultado do teste.

Para os extrusados do primeiro delineamento, a prévia hidratação para a análise da força de corte foi feita aquecendo-se água a 100 °C e os extrusados colocados e mantidos imersos nela durante 5 min, sem aquecimento. Já para os extrusados do segundo delineamento, a prévia hidratação foi feita da seguinte maneira: amostras de extrusados foram pesadas e colocadas em água destilada previamente aquecida a 100 °C, numa proporção sólido-líquido de 1:50. Os extrusados foram mantidos imersos na água durante 15 min, sem aquecimento.

2.7.4. Cor

A análise de cor foi realizada em colorímetro (modelo Color Flex 45/0) da Hunterlab (Reston, Estados Unidos), e programa Hunterlab Universal, com iluminante D65 e observador 10°. Foram obtidos os valores de luminosidade (L^*), cromaticidade vermelha/verde (a^*), cromaticidade amarela/azul (b^*), croma (C^*) e tonalidade cromática (h).

As amostras dos extrusados foram previamente trituradas e colocadas em uma cápsula circular de quartzo, com diâmetro interno de 58 mm, e analisadas em três replicatas. Cada replicata foi girada quatro vezes em torno do próprio eixo (0°, 90°, 180° e 270°), resultando em doze valores para cada ensaio.

2.8. Avaliação das propriedades funcionais dos extrusados

2.8.1. Capacidade de absorção de água

A análise foi realizada de acordo com Lin, Huff e Hsieh (2002), com algumas modificações. Uma porção de 2 g de amostra de extrusados, com aproximadamente 10 mm de comprimento, foi pesada e hidratada com 80 mL de água destilada a 50 °C, em banho-maria, por 12 h. Em seguida a amostra foi drenada por 5 min e pesada. A análise foi realizada em triplicata e a capacidade de absorção de água (CAA) foi calculada de acordo com a equação:

$$\text{CAA (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100,$$

na qual m_1 e m_2 são as massas das amostras de extrusados antes e depois da hidratação, respectivamente.

2.8.2. Velocidade de reidratação

A análise foi realizada de acordo com Bisharat et al. (2013), com algumas modificações. Amostras de extrusados foram hidratadas em água destilada numa proporção de 1:50 em temperatura ambiente por 2 h. A massa das amostras foi obtida a cada 10 min na primeira hora, e a cada 20 min na segunda hora, totalizando 9 tempos de pesagem, sendo a análise realizada em triplicata para cada tempo de pesagem. Os teores de umidade das amostras (base seca, g/g) foram determinados pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997). No tempo zero, foi considerada a umidade (base seca, g/g) do extrusado antes da hidratação.

As taxas de reidratação foram demonstradas em gráficos para cada ensaio e a velocidade de reidratação média (VR_m) calculada conforme a equação:

$$VR_m = \frac{U_f - U_i}{T_f - T_i},$$

na qual U_i e U_f são as umidades (g de água/g de sólidos secos) inicial (no tempo $T_i = 0$ minutos) e final (no tempo $T_f = 120$ minutos), respectivamente.

2.8.3. Teste de reidratação e índice de desintegração dos extrusados

Para conduzir esta análise, a proporção sólido-líquido (extrusado:água) foi padronizada utilizando como referência a metodologia de velocidade de reidratação (BISHARAT et al., 2013), e a temperatura da água e tempo de hidratação do extrusado utilizando o procedimento indicado na maioria dos rótulos de proteína texturizada de soja comerciais e que também é citada na patente do produto (ATKINSON, 1970).

Amostras de extrusados foram pesadas e colocadas em água destilada previamente aquecida a 100 °C, numa proporção sólido-líquido de 1:50. Os extrusados foram mantidos imersos na água durante 15 min, sem aquecimento. Após este tempo, retiraram-se os extrusados da água e, visualmente e por teste tátil, foi verificado se houve reidratação adequada dos mesmos, classificando-os, subjetivamente, como: extrusados duros (não se desfaz, mas o centro é duro), extrusados resistentes (não se desfaz e se parece com uma esponja) ou extrusados moles (desfaz-se). Para cada teste, foram feitas avaliações de três extrusados (triplicata) cortados em comprimentos aproximadamente 30 mm.

Depois de retirar os extrusados hidratados da água, a solução remanescente, contendo água e o extrusado desintegrado, foi levada para secagem em estufa com renovação de ar a 105 °C, até peso constante, e o índice de desintegração (ID) em porcentagem foi calculado por meio da equação:

$$ID = \frac{ED}{E_i} \times 100,$$

em que ED é a massa de extrusado desintegrado (g) após a secagem (sólidos secos) e E_i é a massa de extrusado inicial (g), antes da reidratação.

2.8.4. Solubilidade da proteína em água

A análise foi realizada em triplicata, segundo Chen et al. (2011) com algumas modificações. Uma dispersão (1,6% m/v) de extrusado, moído em grânulos finos (< 250 µm), e água destilada foi preparada em tubo de centrífuga e mantida em agitação por 20 min, a 20 °C e 100 rpm, utilizando um banho-maria com agitação, da Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda. (Piracicaba/SP, Brasil). Em seguida o tubo com a amostra foi centrifugado em centrífuga (modelo CR22N) da Hitachi Koki Co. Ltda. (Tóquio, Japão) a 12000 g por 30

min, a 20 °C. O líquido sobrenadante foi totalmente coletado do tubo e pesado. Em seguida, o teor de nitrogênio do sobrenadante foi determinado por método de micro-Kjeldahl e calculado o teor de proteína considerando fator de conversão de 6,25. A solubilidade da proteína foi expressa em porcentagem, conforme a equação:

$$\text{Solubilidade} = \frac{\text{concentração proteica no sobrenadante}}{\text{concentração proteica na amostra antes da centrifugação}} \times 100,$$

2.8.5. Estabilidade da emulsão

A análise foi realizada em duplicata, de acordo com Inklaar e Fortuin (1969), com modificações. Foram pesados 0,5 g de amostra de extrusado moído (< 1,8 mm) em um béquer contendo 9 mL de água destilada e foi feita a agitação da mistura em agitador magnético por 15 min. Foi adicionado 0,3 g de NaCl e novamente feita a agitação por mais 1 min. Com uma bureta, foram adicionados 5,6 mL de óleo de soja durante 5 min, agitando-se todo o conteúdo a uma velocidade constante. Após a adição de todo o óleo, o conteúdo foi agitado por mais 1 min. Este foi colocado em um tubo de centrífuga de 50 mL e aquecido em banho-maria a 85 °C por 15 min e, em seguida, o tubo foi retirado do banho e resfriado em água fria corrente por 15 min. O tubo foi então centrifugado a 1700 g por 15 min, em centrífuga (modelo CR22N) da Hitachi Koki Co., Ltda. (Tóquio, Japão). Ao final, o óleo foi retirado do tubo com o auxílio de uma pipeta de Pasteur e colocado em uma proveta para ser feita a leitura do volume de óleo separado. A estabilidade da emulsão em porcentagem foi determinada de acordo com a equação:

$$\text{Estabilidade da emulsão} = \left(1 - \frac{\text{volume de óleo separado}}{\text{volume de óleo adicionado}} \right) \times 100$$

Quanto mais próximo de 100% o valor da estabilidade da emulsão, mais estável é a emulsão, por ter menos óleo separado após o procedimento.

2.9. Avaliação das características sensoriais dos extrusados

A análise sensorial dos extrusados foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial, do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” de São José do Rio Preto/SP, em cabines individuais iluminadas com luz branca e à temperatura aproximada de 22 °C.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do mesmo instituto, pelo Parecer nº 1.295.789, de 26 de outubro de 2015 (Anexo A), e os avaliadores leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice 2) antes do início dos testes.

Os extrusados foram avaliados quanto à intensidade do odor de carne, quanto ao quão ideal era a intensidade de odor de carne e quanto à aceitação do odor de carne, utilizando, respectivamente, um teste de diferença multiamostrais, escala do ideal e escala hedônica estruturada de nove pontos (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999) (Figura 4).

Figura 4: Ficha de avaliação sensorial dos extrusados.

Nome: _____		Data: _____		AMOSTRA Nº _____	
Você está recebendo uma amostra de “carne de soja”. Por favor, cheire essa amostra e indique:					
1 - Qual a INTENSIDADE DO ODOR DE CARNE :			2 - Quanto a INTENSIDADE DO ODOR DE CARNE ESTÁ IDEAL para você:		
<input type="checkbox"/> Nenhum			<input type="checkbox"/> extremamente mais intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> Fracamente detectável			<input type="checkbox"/> muito mais intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> Muito suave			<input type="checkbox"/> moderadamente mais intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> Suave			<input type="checkbox"/> ligeiramente mais intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> Suave-moderado			<input type="checkbox"/> intensidade ideal		
<input type="checkbox"/> Moderado			<input type="checkbox"/> ligeiramente menos intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> Moderado-forte			<input type="checkbox"/> moderadamente menos intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> muito menos intenso que o ideal		
3 - Quanto você GOSTOU DO ODOR DE CARNE :			<input type="checkbox"/> extremamente menos intenso que o ideal		
<input type="checkbox"/> 9 – gostei extremamente					
<input type="checkbox"/> 8 – gostei muitíssimo					
<input type="checkbox"/> 7 – gostei moderadamente					
<input type="checkbox"/> 6 – gostei levemente					
<input type="checkbox"/> 5 – nem gostei nem desgostei					
<input type="checkbox"/> 4 – desgostei levemente					
<input type="checkbox"/> 3 – desgostei moderadamente					
<input type="checkbox"/> 2 – desgostei muitíssimo					
<input type="checkbox"/> 1 – desgostei extremamente					
Comentários: _____					

As amostras dos extrusados foram apresentadas aos avaliadores em copos plásticos transparentes, codificados com três dígitos e cobertos com duas camadas de papel alumínio, sendo que a primeira continha orifícios para aspirar os compostos voláteis e a segunda fazia a função de uma tampa, para que os compostos voláteis não fossem perdidos entre uma avaliação e outra (Figura 5).

Figura 5: Amostra de extrusado em copo plástico codificado.



A análise sensorial foi realizada com 18 amostras (1 sem adição de tiamina e 17 com adição de tiamina) no primeiro delineamento experimental, sendo a análise realizada em três sessões com seis amostras cada; e com 12 amostras (1 sem adição de tiamina e 11 com adição de tiamina) no segundo delineamento experimental, sendo a análise realizada em duas sessões com seis amostras cada.

As amostras foram apresentadas de forma balanceada (MACFIE et al., 1989), em bloco completo e de forma monádica. Um copo de água foi oferecido junto às amostras para que o avaliador pudesse cheirar entre uma amostra e outra, a fim de neutralizar o cheiro do odor da amostra avaliada anteriormente.

Na análise do primeiro delineamento, 70 indivíduos não treinados foram recrutados na primeira sessão, mas apenas 57 retornaram para finalizar as três sessões de teste, sendo, portanto, o painel sensorial formado por 57 avaliadores. Já na análise do segundo delineamento, 97 indivíduos não treinados foram recrutados na primeira sessão e 86 retornaram para realizar a segunda sessão de teste, finalizando, portanto, o painel sensorial com 86 avaliadores. Dois fatores podem ter contribuído para um número reduzido de avaliadores na análise do primeiro delineamento experimental: a análise foi realizada nos dias em que se iniciava uma greve de alunos no Instituto, somada à necessidade de avaliar as amostras em três sessões.

Para a intensidade do odor, a escala foi decodificada em valores numéricos, de acordo com Meilgaard, Civille e Carr (1999), sendo: nenhuma = 0; fracamente detectável = 0,25; muito suave = 0,5; suave = 1,0; suave-moderado = 1,5; moderado = 1,5; moderado-forte = 2,5; forte = 3.

2.10. Análise dos compostos voláteis nos extrusados

A análise dos compostos voláteis dos extrusados foi realizada no Laboratório de Sucroquímica e Química Analítica (Departamento de Química e Ciências Ambientais), do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Unesp, São José do Rio Preto/SP, utilizando a cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massa (CG-EM).

Os extrusados foram moídos (< 1,8 mm) utilizando um microprocessador de alimentos. Foram preparados três *vials* (78 mm de altura) para cada ensaio (triplicata), sendo que em cada *vial* foram adicionados 1,5 g do extrusado moído.

Ao extrusado moído dentro do *vial* foi adicionado 1 µL de eugenol 0,05% (em metanol), como padrão interno. Em seguida o *vial* foi colocado em bloco de aquecimento, Dry Block MA 4004, da Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda. (Piracicaba/SP, Brasil), e mantido a 90 °C por 60 min. Nos últimos 30 min de aquecimento, os compostos voláteis liberados na fase de vapor foram adsorvidos por uma fibra de micro extração em fase sólida (SPME), Fiber Assembly, Divinilbenzeno/Carboxeno/Polidimetilsiloxano, Stableflex, 2 cm, 50/30 µm, da Supelco Analytical (Bellefonte, PA, USA). A fibra foi exposta no *headspace* da amostra (40 mm de penetração da fibra no *vial*) e então removida do *vial* e desorvida no injetor do cromatógrafo a gás a 250 °C em modo *splitless* por 5 min (40 mm de penetração de injeção) e por 20 min em modo *split* para sua regeneração.

Os compostos voláteis foram analisados em um cromatógrafo a gás (Clarus 680, Perkin Elmer) acoplado a um espectrômetro de massa (Clarus 600T, Perkin Elmer). Foi utilizada uma coluna capilar de sílica fundida Elite 5MS (30 m x 0.25 mm x 1 µm, Perkin Elmer, Shelton, USA), com hélio a 1 mL/min como gás de arraste. A programação da coluna do cromatógrafo a gás foi feita da seguinte forma: temperatura inicial de 40 °C por 5 min, elevação da temperatura a 3 °C/min até 200 °C e permanência nesta temperatura por 2 min (tempo total da corrida de 61 min).

Para o espectrômetro de massas as condições usadas foram:

- temperatura da interface de 250 °C;

- ionização por impacto de elétrons a 70 eV com intervalo de massas entre 40 e 350 m/z;
- temperatura da fonte de ionização de 180 °C.

Os cromatogramas obtidos foram analisados utilizando o programa TurboMass versão 5.4.2 (PerkinElmer Inc., Waltham, EUA). A identificação dos picos foi realizada por comparação dos índices de retenção linear usando o NIST *Chemistry WebBook* e as bibliotecas espectrais de massas NIST MS *Search* versão 2.0.

Uma alíquota de 1 µL de solução de padrão de alcanos (C₇-C₃₀), da Supelco Analytical (Bellefonte, PA, USA), diluído em hexano na proporção 1:2, foi também injetado no cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas nas mesmas condições descritas anteriormente, para o cálculo do índice de retenção linear (LRI) dos compostos voláteis segundo a equação:

$$LRI = 100z + 100 \frac{tr(x) - tr(z)}{tr(z + 1) - tr(z)}$$

Em que:

z = número de carbonos do alcano anterior ao composto de interesse

tr(x) = tempo de retenção do composto de interesse

tr(z) = tempo de retenção do alcano anterior ao composto de interesse

tr(z+1) = tempo de retenção do alcano posterior ao composto de interesse

Apenas os compostos voláteis que apresentaram em todas as amostras uma correlação acima de 50% com os dados da biblioteca NIST MS *Search* versão 2.0 foram quantificados. O teor de cada composto volátil foi calculado de acordo com a equação:

$$\text{Área Relativa} = \frac{\text{Área do composto volátil}}{\text{Área do padrão interno}}$$

sendo que as áreas dos compostos voláteis e as áreas do padrão interno (eugenol) foram obtidos dos cromatogramas de cada replicata das amostras.

2.11. Análise estatística dos dados

Para os delineamentos, os resultados obtidos para as variáveis dependentes foram submetidos à análise de regressão múltipla, sendo considerados significativos os coeficientes dos modelos cujo valor de p esteve abaixo de 0,10 (primeiro delineamento) e 0,05 (segundo delineamento). A regressão foi avaliada por meio de análise de variância, considerando-se regressão significativa quando $p \leq 0,10$ (primeiro delineamento) e $p \leq 0,05$ (segundo delineamento) e sem falta de ajuste quando $p > 0,05$. Para isso, utilizou-se o programa Minitab 17 (Minitab Inc., Pensilvânia, EUA) e os gráficos de superfície de resposta e regressão linear foram obtidos pelo programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Oklahoma, EUA). Valores de p da regressão e dos coeficientes dos modelos foram considerados maiores para primeiro delineamento, devido à instabilidade identificada no processo durante a realização do trabalho.

A fim de verificar a influência da adição de tiamina no produto, as médias das variáveis dependentes referentes ao extrusado sem tiamina foram comparadas aos ensaios do ponto central dos dois delineamentos, utilizando análise de variância seguida do teste de Tukey, uma vez que as condições de extrusão foram iguais. As diferenças foram consideradas significativas quando $p \leq 0,05$ e, para isso, utilizou-se o programa Minitab 17 (Minitab Inc., Pensilvânia, EUA).

A fim de investigar a correlação entre a aceitação sensorial e intensidade do odor de carne com o teor de compostos voláteis nos extrusados, foi feita uma análise de componentes principais (ACP), utilizando o Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Oklahoma, EUA). Para isso, as médias das variáveis foram inseridas em colunas e as amostras em linhas, e os dados foram padronizados nas colunas antes da análise. A extração dos fatores foi feita a partir da correlação da matriz, sem rotação de fatores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Primeiro delineamento experimental

3.1.1. Propriedades físicas dos extrusados

A razão de expansão dos extrusados variou de 2,20 a 3,36 (Tabela 4). Estes valores foram maiores que os encontrados por Milani et al. (2014) (1,60 a 2,10) em extrusados de proteína isolada de soja e que os encontrados por Yu, Ramaswamy e Boye (2013) (1,25 a 1,77) em extrusados obtidos da mistura de proteína isolada de soja e farinha de milho.

A densidade dos extrusados variou de 0,08 a 0,30 g.cm⁻³ (Tabela 4). Em trabalho desenvolvido para extrusão de uma mistura de farinha de arroz, sorgo e soja, a densidade foi maior e variou de 0,79 a 0,95 g.cm⁻³ (OMWAMBA; MAHUNGU, 2014).

A força de corte no extrusado seco variou de 49,33 a 270,56 N e a força de corte no extrusado hidratado variou de 5,37 a 13,23 N (Tabela 4). Após a hidratação dos extrusados foi observada uma redução acentuada na força de corte para todas as amostras, o que é desejável para este tipo de produto, já que o mesmo deve ser hidratado antes do seu consumo.

Quanto aos parâmetros de cor, a luminosidade variou de 69,17 a 74,57, a cromaticidade vermelha (valores positivos de a*) de 2,67 a 4,94, a cromaticidade amarela (valores positivos de b*) de 20,57 a 24,58, o croma de 21,41 a 25,03 e a tonalidade cromática de 78,16 a 83,28° (Tabela 5). Os valores de luminosidade, a* e b* encontrados estão de acordo com outros trabalhos realizados para obtenção de extrusados proteicos (FANG; ZHANG; WEI, 2014; YU; RAMASWAMY; BOYE, 2013). Observaram-se maiores valores para cromaticidade amarela (b*) do que para a cromaticidade vermelha (a*), indicando predominância do amarelo sobre o vermelho.

Com relação à adição de tiamina nas amostras, notou-se que a razão de expansão, a densidade e as forças de corte do extrusado produzido sem a adição de tiamina foram iguais aos valores dos extrusados dos ensaios 15 e 17 (Tabela 4). Dessa forma, entende-se que a adição da tiamina não interferiu nas características estruturais dos extrusados. Porém, o mesmo não ocorreu para os parâmetros de cor (Tabela 5), pois houve diferença entre os extrusados com tiamina e o extrusado sem tiamina. Por outro lado, verificou-se também que as repetições do ponto central (ensaios 15, 16 e 17) apresentaram diferença entre si.

Tabela 4: Média \pm desvio padrão para a razão de expansão, densidade e força de corte dos extrusados do primeiro delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 10).

Ensaio	U (%)	T (°C)	VR (rpm)	Razão de expansão	Densidade (g.cm ⁻³)	Força de corte (N) no extrusado	Força de corte (N) no extrusado reidratado
1	30	130	184	2,37 \pm 0,28	0,08 \pm 0,02	49 \pm 15	5,4 \pm 2,0
2	40	130	184	2,93 \pm 0,33	0,14 \pm 0,02	198 \pm 40	12,8 \pm 2,5
3	30	170	184	2,64 \pm 0,24	0,24 \pm 0,04	193 \pm 68	8,4 \pm 2,6
4	40	170	184	2,35 \pm 0,21	0,17 \pm 0,02	146 \pm 32	8,6 \pm 1,8
5	30	130	237	3,03 \pm 0,22	0,12 \pm 0,02	253 \pm 70	12,0 \pm 2,5
6	40	130	237	2,62 \pm 0,18	0,28 \pm 0,05	267 \pm 49	12,0 \pm 3,1
7	30	170	237	3,36 \pm 0,28	0,09 \pm 0,01	175 \pm 76	10,7 \pm 1,1
8	40	170	237	2,54 \pm 0,23	0,20 \pm 0,03	219 \pm 30	10,9 \pm 3,3
9	26,6	150	210	3,08 \pm 0,30	0,19 \pm 0,05	147 \pm 65	10,4 \pm 2,9
10	43,4	150	210	2,48 \pm 0,17	0,30 \pm 0,05	218 \pm 27	10,0 \pm 2,2
11	35	116	210	2,56 \pm 0,26	0,27 \pm 0,07	218 \pm 54	8,7 \pm 3,0
12	35	184	210	2,84 \pm 0,28	0,12 \pm 0,02	221 \pm 31	10,7 \pm 1,8
13	35	150	166	2,77 \pm 0,21	0,22 \pm 0,05	221 \pm 37	12,6 \pm 2,0
14	35	150	255	2,72 \pm 0,23	0,24 \pm 0,09	270 \pm 43	11,5 \pm 2,4
15	35	150	210	2,79 \pm 0,16 ^a	0,18 \pm 0,02 ^a	239 \pm 40 ^a	10,4 \pm 3,3 ^a
16	35	150	210	2,20 \pm 0,18 ^b	0,12 \pm 0,02 ^c	114 \pm 25 ^b	5,8 \pm 1,2 ^b
17	35	150	210	2,89 \pm 0,33 ^a	0,15 \pm 0,02 ^b	232 \pm 62 ^a	13,2 \pm 2,8 ^a
Extrusado sem tiamina	35	150	210	2,88 \pm 0,36 ^a	0,17 \pm 0,03 ^{ab}	258 \pm 55 ^a	10,2 \pm 2,9 ^a

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); T: temperatura na zona 5 da extrusora; VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 15, 16 e 17 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

Tabela 5: Média \pm desvio padrão para os parâmetros de cor dos extrusados do primeiro delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 12).

Ensaio	U (%)	T (°C)	VR (rpm)	Cor				
				L*	a*	b*	C*	h (°)
1	30	130	184	69,17 \pm 0,24	4,58 \pm 0,07	22,96 \pm 0,18	24,14 \pm 0,14	78,16 \pm 0,14
2	40	130	184	71,45 \pm 0,27	3,11 \pm 0,08	20,57 \pm 0,05	21,41 \pm 0,13	80,66 \pm 0,11
3	30	170	184	71,42 \pm 1,32	3,29 \pm 0,18	21,67 \pm 0,15	23,22 \pm 0,46	80,56 \pm 0,63
4	40	170	184	71,13 \pm 0,25	4,25 \pm 0,07	23,33 \pm 0,25	24,17 \pm 0,15	79,05 \pm 0,14
5	30	130	237	73,54 \pm 0,27	2,80 \pm 0,05	21,91 \pm 0,06	22,09 \pm 0,06	82,73 \pm 0,14
6	40	130	237	71,47 \pm 0,54	4,11 \pm 0,19	21,98 \pm 0,35	22,36 \pm 0,38	79,41 \pm 0,31
7	30	170	237	74,09 \pm 0,46	2,67 \pm 0,12	22,65 \pm 0,16	22,81 \pm 0,17	83,28 \pm 0,26
8	40	170	237	69,89 \pm 0,29	4,94 \pm 0,10	23,74 \pm 0,04	24,25 \pm 0,06	78,24 \pm 0,23
9	26,6	150	210	71,17 \pm 0,90	3,75 \pm 0,22	23,61 \pm 0,19	23,91 \pm 0,21	80,98 \pm 0,47
10	43,4	150	210	72,20 \pm 1,12	4,72 \pm 0,39	24,58 \pm 0,58	25,03 \pm 0,64	79,15 \pm 0,63
11	35	116	210	71,33 \pm 1,58	4,21 \pm 0,40	23,79 \pm 0,53	24,16 \pm 0,59	79,98 \pm 0,71
12	35	184	210	72,41 \pm 0,14	3,57 \pm 0,02	23,32 \pm 0,07	23,60 \pm 0,07	81,30 \pm 0,04
13	35	150	166	70,06 \pm 0,24	4,81 \pm 0,05	23,14 \pm 0,13	23,64 \pm 0,14	78,27 \pm 0,07
14	35	150	255	70,11 \pm 0,73	4,36 \pm 0,05	23,32 \pm 0,14	23,72 \pm 0,13	79,41 \pm 0,16
15	35	150	210	69,78 \pm 0,54 ^c	4,15 \pm 0,13 ^a	23,33 \pm 0,22 ^b	23,69 \pm 0,24 ^b	79,92 \pm 0,25 ^d
16	35	150	210	74,54 \pm 0,13 ^a	3,13 \pm 0,04 ^c	22,82 \pm 0,07 ^c	23,03 \pm 0,08 ^c	82,20 \pm 0,08 ^b
17	35	150	210	74,57 \pm 0,63 ^a	2,97 \pm 0,07 ^d	22,57 \pm 0,13 ^d	22,76 \pm 0,14 ^d	82,49 \pm 0,14 ^a
Extrusado sem tiamina	35	150	210	72,09 \pm 0,59 ^b	3,76 \pm 0,19 ^b	24,26 \pm 0,34 ^a	24,08 \pm 0,19 ^a	80,88 \pm 0,07 ^c

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); T: temperatura na zona 5 da extrusora; VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 15, 16 e 17 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

Durante a realização da extrusão do primeiro delineamento, notaram-se oscilações no funcionamento do equipamento, mesmo sob as mesmas condições de extrusão. Prova disso foi o ensaio 16 que apresentou extrusado visivelmente diferente dos extrusados dos ensaios 15 e 17 (Figura 6). Além disso, o ensaio 16 apresentou resultados diferentes, se comparado aos ensaios 15 e 17, para todas as características físicas (Tabela 4 e Tabela 5), sendo que para os resultados de parâmetro de cor, os três ensaios do ponto central foram diferentes entre si (exceto para o valor de L^*).

Dessa forma, as análises de regressão múltipla foram realizadas considerando apenas duas repetições do ponto central (ensaios 15 e 17), totalizando 16 ensaios. Ainda, considerando que uma aproximação adequada da verdadeira relação entre as variáveis independentes e dependentes deve ser determinada (MONTGOMERY; RUNGER, 2006), qualquer modelo pode ser o mais adequado para explicar as relações entre as variáveis e por isso tanto o modelo quadrático quanto o linear foram analisados para todas variáveis dependentes. Neste trabalho somente são apresentados os modelos que atingiram os critérios estatísticos mencionados no item 2.11.

O melhor ajuste para a razão de expansão foi observado para o modelo quadrático, sendo dependente do termo linear da umidade da PCS, da interação da umidade da PCS com a temperatura de extrusão e também da interação da umidade da PCS com a velocidade de rotação da rosca (Tabela 6). Um aumento na temperatura de extrusão e redução da umidade da PCS promove uma maior expansão do extrusado (Figura 7A). A combinação de alta temperatura e baixa umidade promove um maior cisalhamento do material, aumentando a pressão no interior da extrusora, gerando um maior diferencial de pressão na trafilha e uma maior expansão do extrusado (MILANI et al., 2014). Além disso, a redução no teor de umidade da matéria-prima aumenta a viscosidade da massa, também resultando em uma alta pressão na trafilha, aumentando a expansão. Por isso, faz-se o emprego de uma alta temperatura de extrusão que resultará num aumento da pressão de vapor dentro da massa com alta viscosidade, favorecendo a expansão (DAY; SWANSON, 2013).

Figura 6: Fotos das secções transversais e longitudinais dos extrusados de proteína concentrada de soja do primeiro delineamento experimental.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U (%)	30	40	30	40	30	40	30	40	26,6
T (°C)	130	130	170	170	130	130	170	170	150
VR (rpm)	184	184	184	184	237	237	237	237	210
Extrusados									
Ensaio	10	11	12	13	14	15	16	17	Sem tiamina
U (%)	43,4	35	35	35	35	35	35	35	35
T (°C)	150	116	184	150	150	150	150	150	150
VR (rpm)	210	210	210	166	255	210	210	210	210
Extrusados									

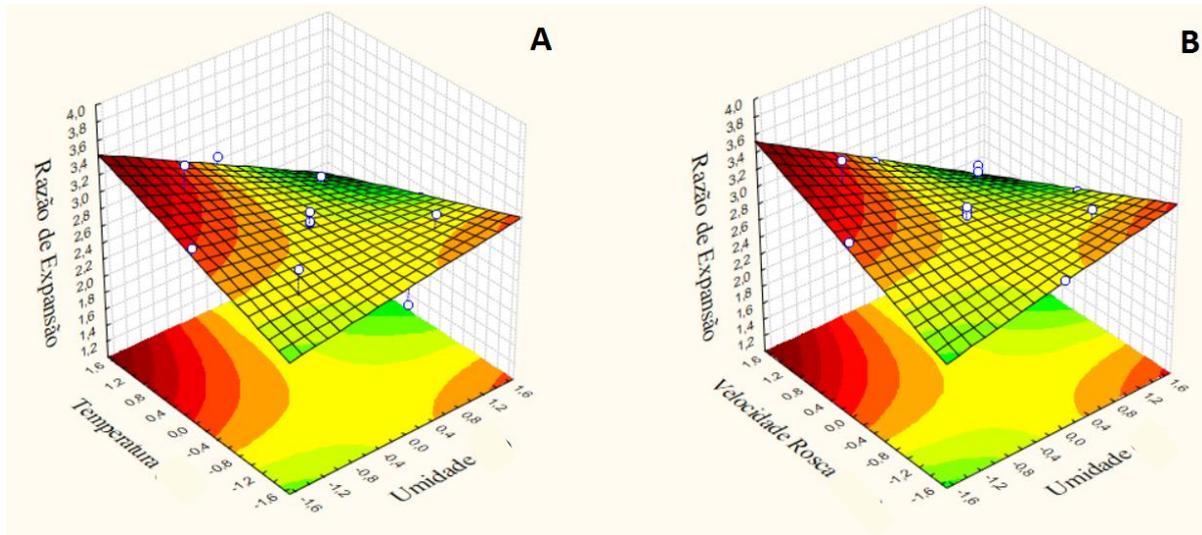
U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); T: temperatura na zona 5 da extrusora; VR: velocidade de rotação da rosca.

Tabela 6: Modelos quadráticos para as características físicas dos extrusados do primeiro delineamento experimental.

Variáveis dependentes	Modelo quadrático	R ² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Razão de expansão	$y_1 = 2,84 - 0,15x_1 - 0,16 x_1x_2 - 0,19 x_1x_3$	61,84	0,063	0,295
h	$y_9 = 81,16 + 0,77x_1 - 0,72x_3^2 - 0,72x_1x_2 - 0,17x_1x_3$	61,32	0,065	0,944

x_1 = umidade da PCS (b.s.); x_2 = temperatura extrusão; x_3 = velocidade de rotação da rosca.

Figura 7: Razão de expansão em função da temperatura de extrusão com a umidade da proteína concentrada de soja (A) e em função da velocidade da rosca com a umidade da proteína concentrada de soja (B) (primeiro delineamento experimental).

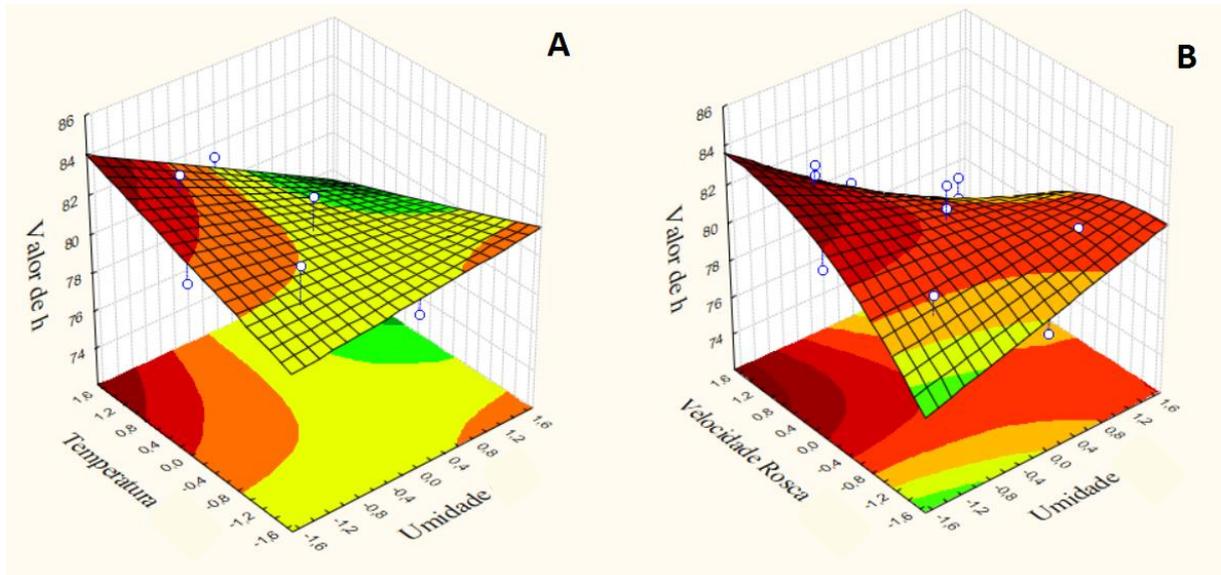


Aumentando a velocidade de rotação da rosca juntamente com uma redução da umidade da PCS também leva a uma maior razão de expansão (Figura 7B). Este comportamento foi observado em outros trabalhos (YU; RAMASWAMY; BOYE, 2012; ZHU et al., 2010) e pode ser atribuído a um aumento na energia mecânica específica no interior da extrusora que por sua vez promove uma maior evaporação da umidade na saída da extrusora, aumentando a razão de expansão (DE MESA et al., 2009; YU; RAMASWAMY; BOYE, 2012).

Para a tonalidade cromática (h), houve efeito do termo linear da umidade da PCS, do termo quadrático da velocidade de rotação da rosca, da interação da umidade da PCS com a temperatura de extrusão e da interação da umidade da PCS com a velocidade de rotação da rosca (Tabela 6). A tonalidade cromática refere-se à cor propriamente dita e é expressa em graus de 0° a 360°, em que 0° corresponde à localização + a* (vermelho), e rotacionando no sentido anti-horário, 90° corresponde à localização + b* (amarelo), 180° para - a* (verde), 270° para - b* (azul) e de volta a 360° = 0° (DUANGMAL; SAICHEUA; SUEEPRASAN, 2008). Desta maneira, observou-se que aumentando a temperatura e reduzindo a umidade da PCS levou a cor do extrusado à aproximação da tonalidade cromática para o amarelo (Figura 8A), e um aumento da velocidade de rotação da rosca com uma diminuição da umidade, bem como velocidade de rotação da rosca e umidade da PCS intermediários, também levaram a uma maior aproximação da tonalidade cromática para o amarelo (Figura 8B). A aproximação da tonalidade cromática para o amarelo é desejável por ser a cor característica de extrusados

de soja, e esses resultados obtidos para os extrusados podem estar relacionados com o menor cozimento do material dentro da extrusora.

Figura 8: Tonalidade cromática (h) em função da temperatura de extrusão com a umidade da proteína concentrada de soja (A) e em função da velocidade da rosca com a umidade da proteína concentrada de soja (B) (primeiro delineamento experimental).



3.1.2. Características sensoriais dos extrusados

A intensidade do odor de carne nos extrusados adicionados de tiamina variou de 1,28 (suave a suave-moderado) a 1,98 (suave-moderado a moderado). Para o extrusado sem adição de tiamina a intensidade do odor foi de 0,57 (muito suave a suave), um valor menor que os ensaios 15, 16 e 17 (Tabela 7). Apesar daquele não ter sido adicionado de tiamina, a suave intensidade de odor de carne para o extrusado sem tiamina pode ser atribuída à degradação térmica desta vitamina inerente à matéria-prima, pois a proteína concentrada de soja pode apresentar até 0,32 mg de tiamina/100 g (PERKINS, 1995).

O ideal da intensidade do odor de carne nos extrusados adicionados de tiamina variou de 3,93 (ligeiramente a moderadamente menos intenso que o ideal) a 5,26 (intensidade ideal a ligeiramente mais intenso que o ideal). Para o extrusado sem adição de tiamina foi de 2,37 (moderadamente menos intenso que o ideal a muito menos intenso que o ideal) e menor que os valores encontrados para os ensaios 15, 16 e 17, demonstrando que a intensidade do odor de carne do produto adicionado de tiamina está mais próxima do ideal (Tabela 7).

A aceitação do odor de carne variou de 6,05 a 6,72 (ambos de gostei levemente a gostei moderadamente). A aceitação do extrusado sem tiamina foi de 4,12 (desgostei levemente a nem gostei nem desgostei) e também menor que os extrusados dos ensaios 15, 16 e 17 (Tabela 7). Tal resultado demonstra uma boa aceitação por um substituto de carne que tenha, além das características físicas, também as características sensoriais similares às da carne.

Apesar da intensidade do odor de carne observado nos extrusados adicionados de tiamina ter sido considerada, de um modo geral, como intensidade ideal, a aceitação do odor não foi maior que 7. A aceitação do odor de carne, de leve a moderada, dos extrusados pode estar relacionado com a característica do odor de carne, ou seja, com o perfil dos compostos voláteis presentes no produto. Cada mecanismo de formação de aroma leva a liberação de diferentes compostos voláteis que são responsáveis pelas notas aromáticas percebidas pelo avaliador, como notas de tostado, alho, carne cozida, carne assada (BAEK et al., 2001; DONALD S., 1998; GÜNTERT et al., 1992; VARAVINIT et al., 2000). Por outro lado, já foi observado resultado semelhante para aceitação do odor em produtos cárneos (CARVALHO et al, 2017).

Tabela 7: Média \pm desvio padrão para os parâmetros sensoriais dos extrusados do primeiro delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 57).

Ensaio	U (%)	T (°C)	VR (rpm)	Intensidade do odor de carne*	Ideal da intensidade do odor de carne**	Aceitação do odor de carne***
1	30	130	184	1,36 \pm 0,79	4,11 \pm 1,59	6,28 \pm 1,53
2	40	130	184	1,83 \pm 0,53	5,02 \pm 1,22	6,58 \pm 1,43
3	30	170	184	1,91 \pm 0,62	4,88 \pm 1,38	6,56 \pm 1,50
4	40	170	184	1,98 \pm 0,62	5,26 \pm 1,29	6,72 \pm 1,46
5	30	130	237	1,60 \pm 0,76	4,60 \pm 1,51	6,09 \pm 1,67
6	40	130	237	1,61 \pm 0,75	4,61 \pm 1,44	6,18 \pm 1,85
7	30	170	237	1,28 \pm 0,79	3,93 \pm 1,50	5,81 \pm 1,84
8	40	170	237	1,76 \pm 0,73	4,95 \pm 1,37	6,44 \pm 1,41
9	26,6	150	210	1,41 \pm 0,72	4,40 \pm 1,56	6,05 \pm 1,63
10	43,4	150	210	1,80 \pm 0,77	4,86 \pm 1,53	6,07 \pm 1,52
11	35	116	210	1,75 \pm 0,58	4,86 \pm 1,30	6,46 \pm 1,39
12	35	184	210	1,79 \pm 0,65	5,07 \pm 1,35	6,51 \pm 1,36
13	35	150	166	1,69 \pm 0,74	4,72 \pm 1,41	6,42 \pm 1,38
14	35	150	255	1,75 \pm 0,72	4,74 \pm 1,22	6,54 \pm 1,54
15	35	150	210	1,92 \pm 0,63 ^a	5,07 \pm 1,28 ^a	6,58 \pm 1,60 ^a
16	35	150	210	1,56 \pm 0,76 ^b	4,61 \pm 1,41 ^a	6,25 \pm 1,65 ^a
17	35	150	210	1,79 \pm 0,64 ^{ab}	5,05 \pm 1,37 ^a	6,35 \pm 1,64 ^a
Extrusado sem tiamina	35	150	210	0,57 \pm 0,62 ^c	2,37 \pm 1,32 ^b	4,12 \pm 1,92 ^b

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); T: temperatura na zona 5 da extrusora; VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 15, 16 e 17 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

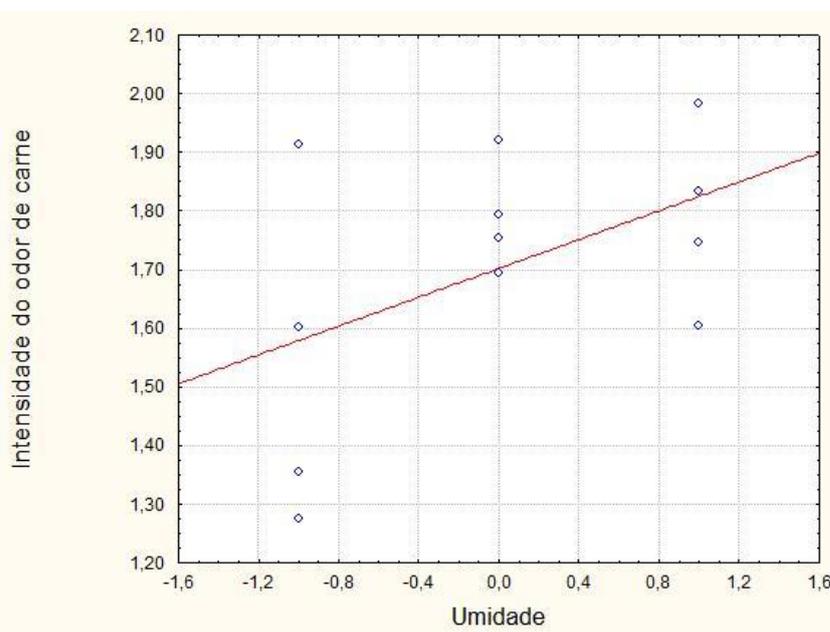
*Escala de intensidade: 0=nenhum; 0,25=fracamente detectável; 0,5=muito suave; 1=suave; 1,5=suave-moderado; 2=moderado; 2,5=moderado-forte; 3=forte.

**Escala do ideal numérica não ajustada: 1=extremamente menos intenso que o ideal; 2=muito menos intenso que o ideal; 3=moderadamente menos intenso que o ideal; 4=ligeiramente menos intenso que o ideal; 5=intensidade ideal; 6= ligeiramente menos intenso que o ideal; 7= moderadamente mais intenso que o ideal; 8=muito mais intenso que o ideal; 9= extremamente mais intenso que o ideal.

***Escala hedônica: 1=desgostei extremamente; 2=desgostei muitíssimo; 3=desgostei moderadamente; 4=desgostei levemente; 5=nem gostei nem desgostei; 6=gostei levemente; 7=gostei moderadamente; 8=gostei muitíssimo; 9=gostei extremamente.

O melhor ajuste para intensidade do odor de carne foi observado para o modelo linear, com R^2 ajustado = 29,24%, valor de $p = 0,069$ e p da falta de ajuste = 0,377. O aumento na umidade da PCS aumentou a intensidade do odor de carne ($y = 1,70 + 0,12x$) (Figura 9). Desconhece-se estudo recente demonstrando o efeito das condições de extrusão sobre a retenção de vitaminas e seus compostos de degradação. Porém, Asp e Bjorck (1989) relataram que aumentando a umidade, a retenção de tiamina aumenta durante a extrusão, mas um aumento na temperatura ou na velocidade de rotação da rosca reduz a retenção de tiamina. Entende-se que há uma tendência de o indivíduo perceber uma maior intensidade de odor de carne em extrusados obtidos de PCS com maior umidade e classificar essa intensidade (suave-moderado a moderado) como ideal.

Figura 9: Intensidade do odor de carne dos extrusados em função da umidade da PCS (primeiro delineamento experimental).



Diante dos resultados das características físicas e sensoriais dos extrusados obtidos neste primeiro delineamento, observou-se p da regressão significativo apenas para a razão de expansão ($p = 0,063$), tonalidade cromática ($p = 0,065$) e intensidade do odor de carne ($p = 0,069$). Entretanto, estes valores só foram considerados significativos, pois se decidiu trabalhar com nível de significância de 0,10 e eliminando um dos pontos centrais do delineamento, já que os modelos com os três pontos centrais não haviam apresentado nenhum efeito de nenhuma variável independente sobre as variáveis respostas avaliadas. Por isso, decidiu-se realizar um segundo delineamento experimental, buscando encontrar mais efeitos

das variáveis independentes sobre as variáveis respostas, e também resultados que garantissem uma melhor repetibilidade do processo de extrusão.

3.2. Segundo delineamento experimental

3.2.1 Características do processo de extrusão

O tempo de residência variou de 26,9 a 35,1 s e a amperagem de 7,2 a 7,9 A. Notou-se uma amperagem maior para o extrusado sem adição de tiamina quando comparada às dos ensaios dos pontos centrais (Tabela 8). Uma maior amperagem (maior trabalho da extrusora para transportar o material) pode estar relacionada com uma maior viscosidade do material e uma maior pressão interna (YULIANI et al., 2004). Por isso, os resultados obtidos podem levar ao entendimento de que a adição de tiamina melhorou o fluxo da PCS durante a extrusão, reduzindo a amperagem. No entanto, outros resultados apresentados no item 3.2.2 mostram algumas contradições que não nos permitem concluir esse efeito da tiamina.

Tabela 8: Média \pm desvio padrão para tempo de residência (n = 3) e amperagem (n = 14) do processo de extrusão do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina.

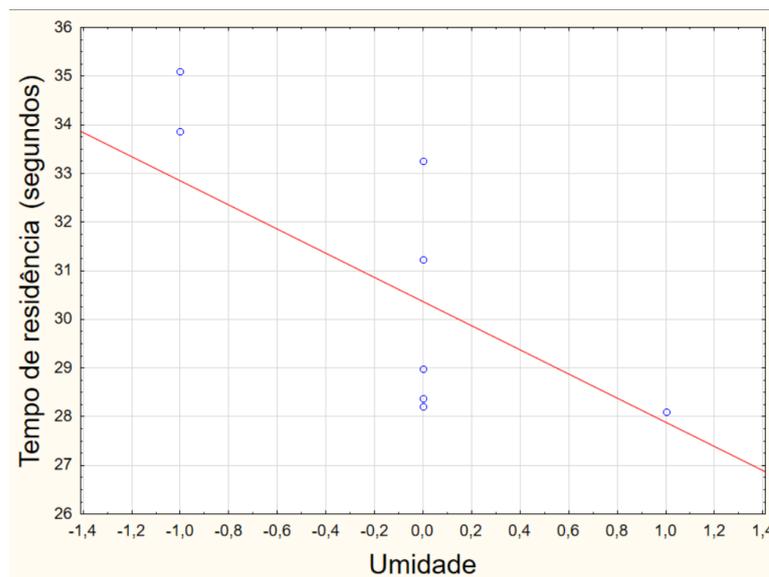
Ensaio	U (%)	VR (rpm)	Tempo de residência (s)	Amperagem (A)
1	-1	-1	35,1 \pm 1,5	7,5 \pm 0,1
2	1	-1	28,1 \pm 0,1	7,6 \pm 0,3
3	-1	1	33,9 \pm 3,6	7,6 \pm 0,2
4	1	1	28,1 \pm 0,3	7,6 \pm 0,2
5	-1,41	0	31,9 \pm 2,3	7,8 \pm 0,3
6	1,41	0	26,9 \pm 2,1	7,9 \pm 0,5
7	0	-1,41	28,2 \pm 1,1	7,8 \pm 0,3
8	0	1,41	28,4 \pm 0,8	7,2 \pm 0,2
9	0	0	29,0 \pm 1,1 ^{ab}	7,7 \pm 0,3 ^b
10	0	0	31,2 \pm 1,0 ^{ab}	7,6 \pm 0,3 ^b
11	0	0	33,3 \pm 1,4 ^a	7,7 \pm 0,7 ^b
Extrusado sem tiamina	0	0	27,1 \pm 3,7 ^b	8,4 \pm 0,7 ^a

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

O melhor ajuste para o tempo de residência foi observado para o modelo linear, com R^2 ajustado = 53,05%, valor de $p = 0,020$ e p da falta de ajuste = 0,666. A umidade da PCS teve efeito negativo sobre o tempo de residência ($y = 30,40 - 2,48x_1$) (Figura 10), ou seja, a redução na umidade da PCS aumentou o tempo de residência do material dentro da extrusora. Um material com menor umidade torna-se mais viscoso e mais difícil de ser transportado pela rosca, aumentando o tempo de residência.

Figura 10: Tempo de residência dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).



Os modelos para a amperagem não foram significativos; portanto, não foram apresentados.

3.2.2 Propriedades físicas dos extrusados

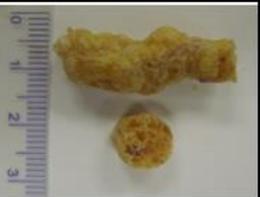
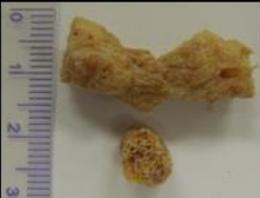
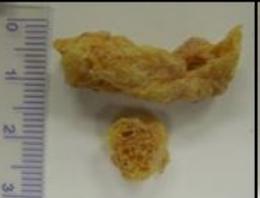
Nos extrusados obtidos no segundo delineamento experimental (Figura 11) a razão de expansão variou de 2,52 a 3,22, a densidade de 0,16 a 0,26 g.cm⁻³, a força de corte de 209,17 a 282,49 N e a força de corte do extrusado hidratado de 11,48 a 20,14 N (Tabela 9). Quanto aos parâmetros de cor, a luminosidade variou de 71,40 a 73,38, a cromaticidade vermelha (valores positivos de a*) de 3,49 a 4,04, a cromaticidade amarela (valores positivos de b*) de 20,74 a 22,12, o croma (C) de 21,11 a 22,43 e o tonalidade cromática (h) de 79,20 a 80,98 (Tabela 10). Observaram-se maiores valores para cromaticidade amarela (b*) do que para a cromaticidade vermelha (a*), indicando predominância do amarelo sobre o vermelho na cor dos extrusados.

Com relação ao extrusado sem adição de tiamina, este apresentou médias diferentes das encontradas para os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais – com tiamina) em quase todas as características físicas avaliadas, destacando-se a maior razão de expansão e menor densidade para os extrusados com tiamina. No entanto, o extrusado sem adição de tiamina atingiu resultados satisfatórios para um extrusado proteico, como por exemplo: razão de expansão acima de 2,0 (resultado de 2,2), baixa densidade (0,32 g.cm⁻³) e, assim como os

extrusados adicionados de tiamina, apresentou uma redução acentuada da força de corte após ser hidratado em água quente.

O melhor ajuste para a razão de expansão, densidade, força de corte do extrusado hidratado e o croma da cor foi observado para o modelo linear, apesar dos baixos valores de R^2 , parâmetro este que indica a qualidade do ajuste do modelo aos resultados obtidos. Já para a cromaticidade vermelha (a^*), cromaticidade amarela (b^*) e a tonalidade cromática (h), o melhor ajuste foi encontrado para o modelo quadrático (Tabela 11). Os modelos para as demais variáveis físicas não foram significativos; portanto, não foram apresentados na tabela.

Figura 11: Fotos das secções transversais e longitudinais dos extrusados de proteína concentrada de soja do segundo delineamento experimental.

Ensaio	1	2	3	4	5	6
U (%)	30	38	30	38	28,4	39,6
VR (rpm)	198	198	234	234	216	216
Extrusados						
Ensaio	7	8	9	10	11	Sem tiamina
U (%)	34	34	34	34	34	34
VR (rpm)	190	242	216	216	216	216
Extrusados						

U: unidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Tabela 9: Média \pm desvio padrão para razão de expansão, densidade e força de corte (n = 10) dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina.

Ensaio	U (%)	VR (rpm)	Razão de expansão	Densidade (g.cm ⁻³)	Força de corte no extrusado (N)	Força de corte no extrusado reidratado (N)
1	-1	-1	2,76 \pm 0,36	0,19 \pm 0,04	282 \pm 77	15,1 \pm 2,5
2	1	-1	2,71 \pm 0,33	0,22 \pm 0,02	266 \pm 41	20,1 \pm 3,7
3	-1	1	3,08 \pm 0,19	0,19 \pm 0,03	240 \pm 83	11,5 \pm 3,9
4	1	1	2,57 \pm 0,20	0,26 \pm 0,04	257 \pm 41	13,2 \pm 3,7
5	-1,41	0	3,22 \pm 0,16	0,16 \pm 0,02	209 \pm 56	15,4 \pm 4,0
6	1,41	0	2,52 \pm 0,16	0,26 \pm 0,02	271 \pm 38	16,1 \pm 3,2
7	0	-1,41	2,76 \pm 0,22	0,24 \pm 0,03	259 \pm 30	15,2 \pm 3,2
8	0	1,41	3,04 \pm 0,17	0,17 \pm 0,03	230 \pm 52	12,9 \pm 4,5
9	0	0	2,77 \pm 0,10 ^a	0,20 \pm 0,02 ^b	251 \pm 37 ^{ns}	11,8 \pm 4,3 ^a
10	0	0	2,90 \pm 0,10 ^a	0,18 \pm 0,01 ^b	255 \pm 64 ^{ns}	14,9 \pm 2,6 ^a
11	0	0	2,88 \pm 0,13 ^a	0,19 \pm 0,02 ^b	273 \pm 54 ^{ns}	14,2 \pm 2,0 ^a
Extrusado sem tiamina	0	0	2,20 \pm 0,28 ^b	0,32 \pm 0,07 ^a	199 \pm 93 ^{ns}	6,6 \pm 2,5 ^b

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

ns: não significativo

Tabela 10: Média \pm desvio padrão para os parâmetros de cor dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 12).

Ensaio	U (%)	VR (rpm)	Cor				
			L	a*	b*	C*	h (°)
1	-1	-1	72,34 \pm 0,14	4,03 \pm 0,13	21,09 \pm 0,34	21,47 \pm 0,35	79,20 \pm 0,18
2	1	-1	71,93 \pm 0,63	3,82 \pm 0,15	21,30 \pm 0,34	21,64 \pm 0,36	79,85 \pm 0,25
3	-1	1	73,38 \pm 0,36	3,51 \pm 0,19	22,12 \pm 0,47	22,40 \pm 0,49	80,98 \pm 0,30
4	1	1	72,60 \pm 0,16	4,04 \pm 0,02	22,06 \pm 0,13	22,43 \pm 0,12	79,63 \pm 0,09
5	-1,41	0	72,15 \pm 0,27	3,59 \pm 0,05	21,70 \pm 0,23	21,99 \pm 0,24	80,62 \pm 0,09
6	1,41	0	71,63 \pm 0,26	3,95 \pm 0,04	21,62 \pm 0,15	21,98 \pm 0,14	79,65 \pm 0,14
7	0	-1,41	71,40 \pm 0,77	3,90 \pm 0,09	20,74 \pm 0,10	21,11 \pm 0,09	79,36 \pm 0,27
8	0	1,41	72,61 \pm 0,18	3,61 \pm 0,05	21,67 \pm 0,13	21,97 \pm 0,13	80,55 \pm 0,08
9	0	0	72,64 \pm 0,72 ^c	3,59 \pm 0,12 ^b	21,88 \pm 0,18 ^b	22,18 \pm 0,19 ^b	80,69 \pm 0,23 ^a
10	0	0	73,37 \pm 0,40 ^b	3,49 \pm 0,11 ^b	21,57 \pm 0,32 ^c	21,85 \pm 0,34 ^c	80,81 \pm 0,14 ^a
11	0	0	72,27 \pm 0,63 ^c	3,55 \pm 0,13 ^b	21,94 \pm 0,20 ^b	22,23 \pm 0,21 ^b	80,82 \pm 0,26 ^a
Extrusado sem tiamina	0	0	74,27 \pm 0,11 ^a	4,55 \pm 0,05 ^a	22,34 \pm 0,21 ^a	22,80 \pm 0,21 ^a	78,49 \pm 0,08 ^b

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

Tabela 11: Modelos lineares e quadráticos para as características físicas dos extrusados do segundo delineamento experimental.

Variáveis dependentes	Modelo linear	R² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Razão de expansão	$y_1 = 2,84 - 0,20x_1$	61,10	0,004	0,216
Densidade	$y_2 = 0,20 + 0,03x_1$	53,08	0,020	0,098
Força de corte no extrusado hidratado	$y_3 = 14,60 - 1,72x_2$	43,88	0,041	0,502
C*	$y_4 = 21,93 + 0,37x_2$	59,08	0,011	0,417

Variáveis dependentes	Modelo quadrático	R² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
a*	$y_1 = 3,54 + 0,10x_1 - 0,09x_2 + 0,13x_1^2 + 0,13x_2^2 + 0,18 x_1x_2$	88,21	0,004	0,251
b*	$y_2 = 21,80 + 0,39x_2 - 0,24x_2^2$	76,46	0,023	0,530
h	$y_3 = 80,77 - 0,26x_1 + 0,41x_2 - 0,35x_1^2 - 0,44x_2^2 - 0,50x_1x_2$	95,34	0,000	0,147

x_1 = umidade da PCS (b.s.); x_2 = velocidade de rotação da rosca.

A umidade da PCS teve efeito negativo sobre a razão de expansão (Figura 12) e efeito positivo sobre a densidade (Figura 13), ou seja, a redução na umidade da PCS aumentou a razão de expansão e diminuiu a densidade dos extrusados. Portanto, o efeito da umidade sobre a razão de expansão e a densidade mostrou que quanto menor foi a umidade no delineamento, melhores foram as características estruturais dos extrusados, uma vez que, deseja-se que produtos extrusados tenham alta expansão e baixa densidade (BRENNAN et al., 2013; LAZOU; KROKIDA, 2010).

Figura 12: Razão de expansão dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).

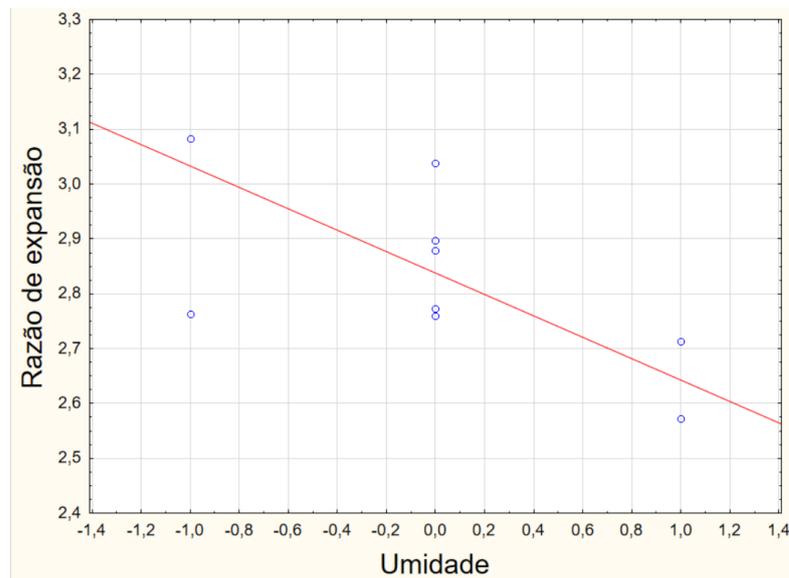
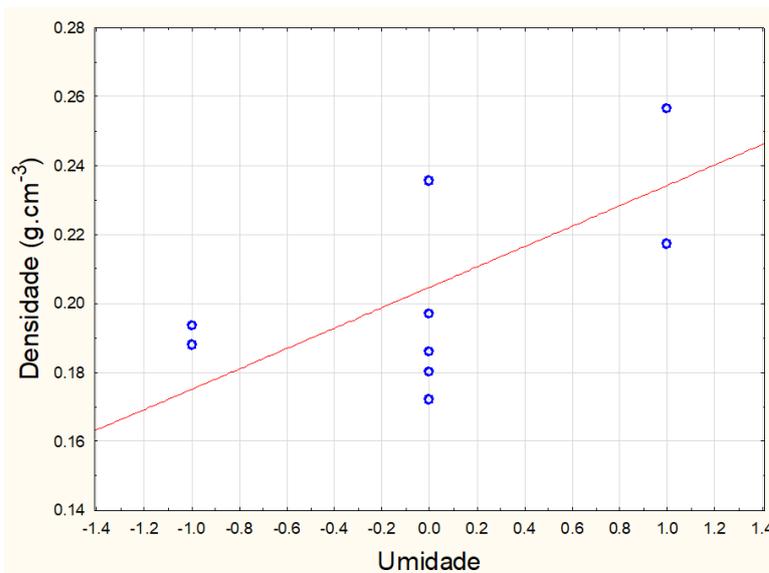


Figura 13: Densidade dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).



Ainda, a velocidade de rotação da rosca teve efeito negativo sobre a força de corte do extrusado hidratado, ou seja, uma redução da velocidade de rotação da rosca aumentou a força de corte do extrusado hidratado (Figura 14). Uma menor velocidade de rotação da rosca manteve o material mais tempo sob alta temperatura no interior da extrusora, e pode ter favorecido a formação de ligações/interações químicas mais fortes, mantidas mesmo após a hidratação. De acordo com Arêas (1992), Liu e Hsieh (2007) e Guerrero et al. (2012), as ligações covalentes dissulfeto e interações não-covalentes são responsáveis e igualmente importantes para formar a estrutura fibrosa do extrusado proteico.

Para os parâmetros da cor, observou-se efeito exclusivo da velocidade de rotação da rosca no croma (Figura 15A) e na cromaticidade amarela (Figura 15B) dos extrusados, sendo que o aumento no termo linear da velocidade resultou em aumento desses dois parâmetros. Também se observou efeito de todos os termos do modelo quadrático sobre a cromaticidade vermelha (figura 15C) e tonalidade cromática da cor (Figura 15D), porém, de forma oposta. Visualizando as Figuras 15C e 15D, notam-se áreas de minimização e maximização da cromaticidade vermelha e da tonalidade cromática, respectivamente, indicando que para maiores valores de tonalidade cromática, menores são os valores de cromaticidade vermelha. Isso faz sentido, visto que à medida que a tonalidade cromática da cor se aproxima de 90°, há menor contribuição da cromaticidade vermelha na cor.

Figura 14: Força de corte dos extrusados hidratados em função da velocidade de rotação da rosca (segundo delineamento experimental).

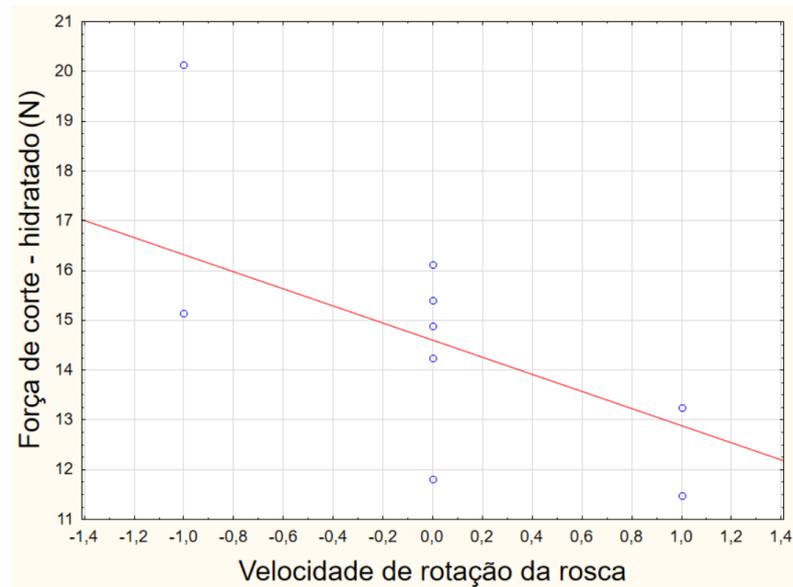
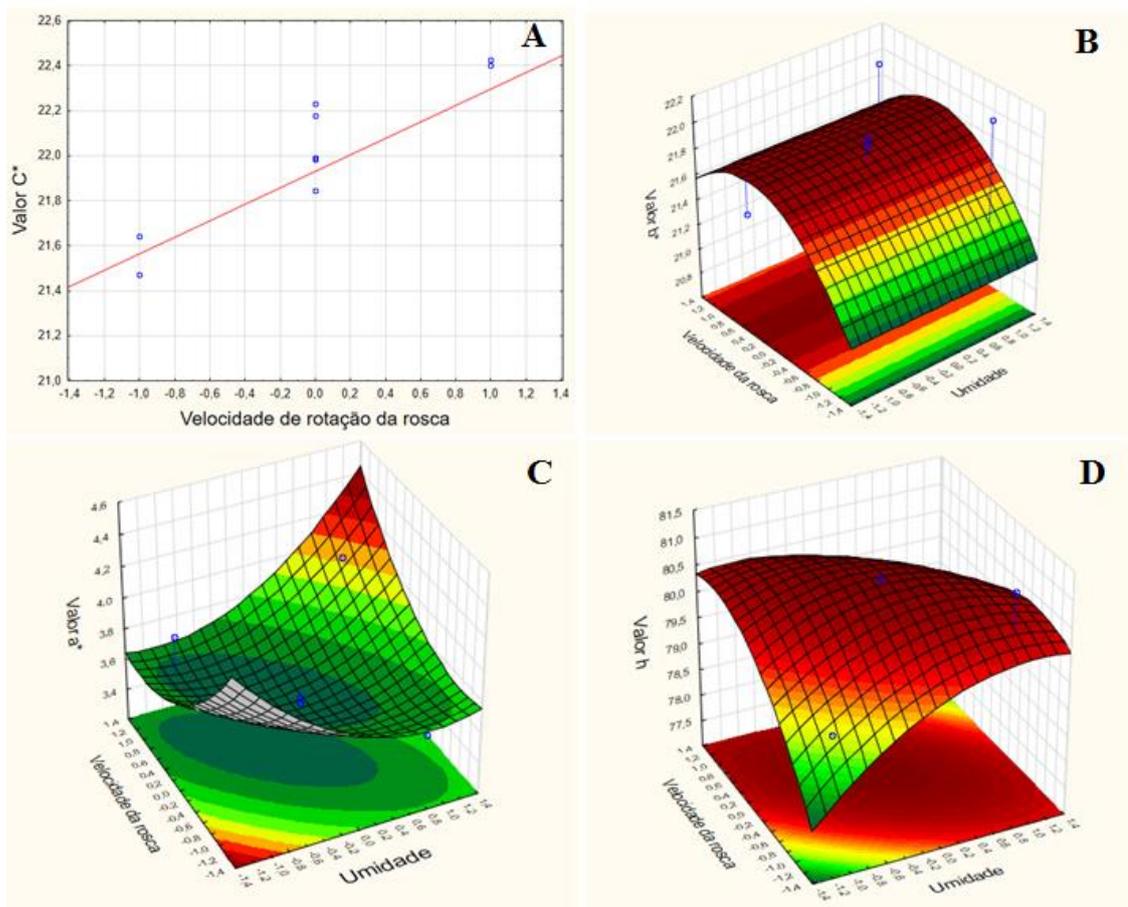


Figura 15: Valores de C^* e b^* dos extrusados em função da velocidade de rotação da rosca e valores de a^* e tonalidade cromática (h) dos extrusados em função da umidade e da velocidade de rotação da rosca (segundo delineamento experimental).



3.2.3 Propriedades funcionais dos extrusados

A capacidade de absorção de água variou de 394 a 475% (Tabela 12). Estes valores são compatíveis com os encontrados no trabalho feito por Lin, Huff e Hsieh (2002) para extrusados obtidos da mistura de proteína isolada de soja e amido de trigo com alta umidade, na proporção de 9:1, no qual a capacidade de absorção de água variou de 315 a 588%.

A velocidade de reidratação média variou de 35,7 a 52,3 mg de água/min (Tabela 12). A taxa de reidratação dos extrusados de todos os ensaios e do extrusado sem adição de tiamina foi mais acentuada nos primeiros 20 min da análise (de um total de 120 min) (Figura 16). No início do processo de reidratação a absorção de água é maior devido ao enchimento dos poros da superfície com água. Na próxima fase, o enchimento das células internas com água provoca a redução da taxa de absorção até o equilíbrio (BISHARAT et al., 2013). Tal comportamento de reidratação é desejável, uma vez que no preparo da proteína texturizada de soja para o consumo, uma prévia reidratação do produto, por 15 minutos, é recomendada.

Tabela 12: Média \pm desvio padrão para as propriedades funcionais dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (*n = 3, **n = 2).

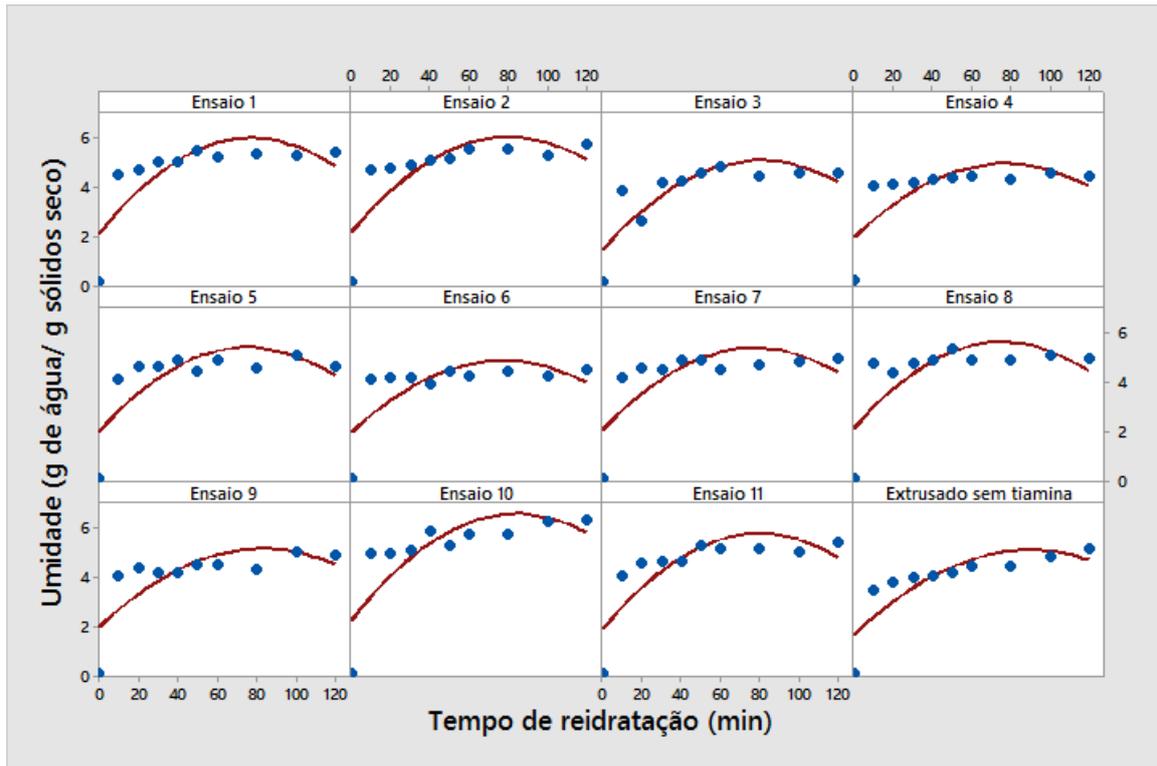
Ensaio	U (%)	VR (rpm)	Capacidade de absorção de água (%)*	Velocidade de reidratação média (mg de água/min)* ¹	Índice de desintegração (%)*	Solubilidade da proteína (%)*	Estabilidade da emulsão (%)**
1	-1	-1	438 \pm 17	44,1	2,9 \pm 0,3	6,7 \pm 0,6	9,8 \pm 0,7
2	1	-1	465 \pm 5	46,7	2,6 \pm 0,1	5,5 \pm 0,3	1,3 \pm 0,0
3	-1	1	426 \pm 20	37,2	2,9 \pm 0,2	6,4 \pm 0,6	1,8 \pm 0,0
4	1	1	394 \pm 44	35,7	3,3 \pm 0,3	5,4 \pm 0,0	6,0 \pm 0,0
5	-1,41	0	445 \pm 6	38,0	3,3 \pm 0,4	7,2 \pm 0,8	10,2 \pm 7,0
6	1,41	0	426 \pm 17	36,4	3,8 \pm 1,2	5,0 \pm 0,1	8,4 \pm 1,7
7	0	-1,41	460 \pm 17	40,4	2,8 \pm 0,3	5,9 \pm 0,3	7,9 \pm 0,0
8	0	1,41	438 \pm 29	40,1	2,7 \pm 0,3	5,7 \pm 0,2	9,8 \pm 0,7
9	0	0	431 \pm 7 ^c	40,1	2,7 \pm 0,3 ^b	5,7 \pm 0,3 ^{ns}	15,4 \pm 0,0 ^{ab}
10	0	0	461 \pm 16 ^{bc}	52,3	2,8 \pm 0,3 ^{ab}	6,0 \pm 0,3 ^{ns}	14,0 \pm 2,3 ^{ab}
11	0	0	475 \pm 22 ^{ab}	44,5	2,8 \pm 0,2 ^{ab}	6,3 \pm 0,2 ^{ns}	16,4 \pm 0,7 ^a
Extrusado sem tiamina	0	0	512 \pm 15 ^a	42,1	3,3 \pm 0,0 ^a	5,4 \pm 0,5 ^{ns}	3,7 \pm 1,7 ^b

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

¹Valores referentes à variação da quantidade de água (mg) e do tempo (min) do início ao fim da análise, por isso não foi calculado o desvio-padrão.
ns: não significativo.

Figura 16: Taxa de reidratação dos extrusados (segundo delineamento experimental).



O índice de desintegração dos extrusados variou de 2,6 a 3,8% (Tabela 12). Tais valores são baixos e juntamente com a análise do extrusado no teste de reidratação podem auxiliar na avaliação da texturização do produto. Após o teste tátil e visual, todos os extrusados foram classificados como resistentes (Figura 17), ou seja, com a compressão do extrusado entre os dedos, ele não se desfez e apresentou característica esponjosa, inclusive o extrusado sem adição de tiamina.

Figura 17: Fotos das secções transversais e longitudinais dos extrusados de proteína concentrada de soja, antes (A) e após (B) o teste de reidratação, e suas classificações (segundo delineamento experimental).

Ensaio	1	2	3	4	5	6						
U (%)	30	38	30	38	28,4	39,6						
VR (rpm)	198	198	234	234	216	216						
Classificação do extrusado	resistente	resistente	resistente	resistente	resistente	resistente						
Extrusados												
	Ensaio	7	8	9	10	11	Extrusado sem tiamina					
U (%)	34	34	34	34	34	34						
VR (rpm)	190	242	216	216	216	216						
Classificação do extrusado	resistente	resistente	resistente	resistente	resistente	resistente						
Extrusados												

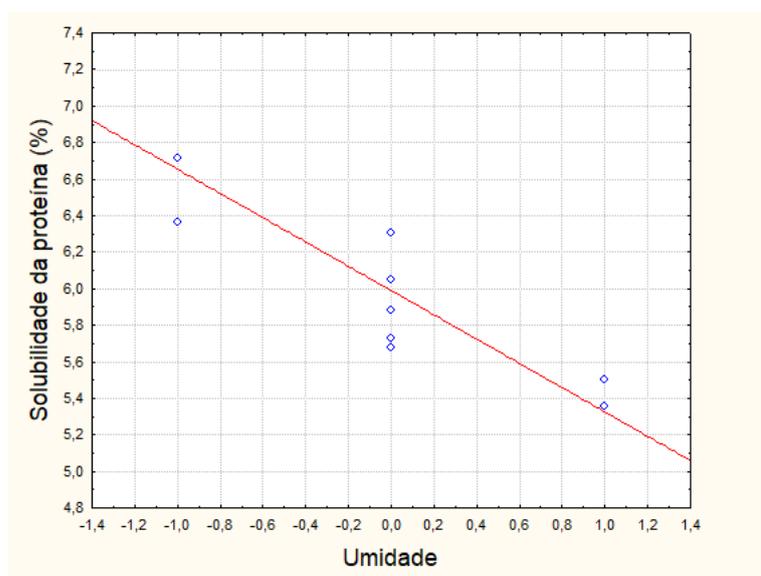
A solubilidade da proteína dos extrusados em água variou de 5,0 a 7,2% (Tabela 12). Resultados similares foram encontrados por Conti-Silva et al. (2010) para solubilidade proteica de extrusados de rumem bovino (5,31%) e para extrusados de proteína concentrada de soja (9,34%). Com o processo de extrusão, ocorre a desnaturação e a redução da solubilidade da proteína, além de promover uma complexa alteração em sua estrutura molecular, sendo que a insolubilização da proteína é favorecida pela formação de grande número de ligações covalentes não-dissulfeto (MOHAMMED; HILL; MITCHELL, 2000). Desta maneira, a solubilidade mostra a extensão da desnaturação proteica durante o processamento. O melhor ajuste para a solubilidade da proteína foi observado para o modelo linear (Tabela 13), sendo que a redução da umidade da PCS promoveu um aumento na solubilidade proteica (Figura 18). É provável que uma umidade maior diminua a viscosidade da massa, aumentando a troca de calor e favorecendo a desnaturação proteica reduzindo assim a solubilidade. No entanto, não foram encontrados estudos científicos para comparação.

Tabela 13: Modelos linear e quadrático para as características funcionais dos extrusados do segundo delineamento experimental.

Variável dependente	Modelo linear	R² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Solubilidade da proteína	$y_1 = 5,99 - 0,66x_1$	86,97	0,000	0,774
Variável dependente	Modelo quadrático	R² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Estabilidade da emulsão	$y_2 = 15,26 - 4,59x_1^2 - 4,12x_2^2$	69,36	0,042	0,109

x_1 = umidade da PCS (b.s.); x_2 = velocidade de rotação da rosca.

Figura 18: Solubilidade proteica dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).

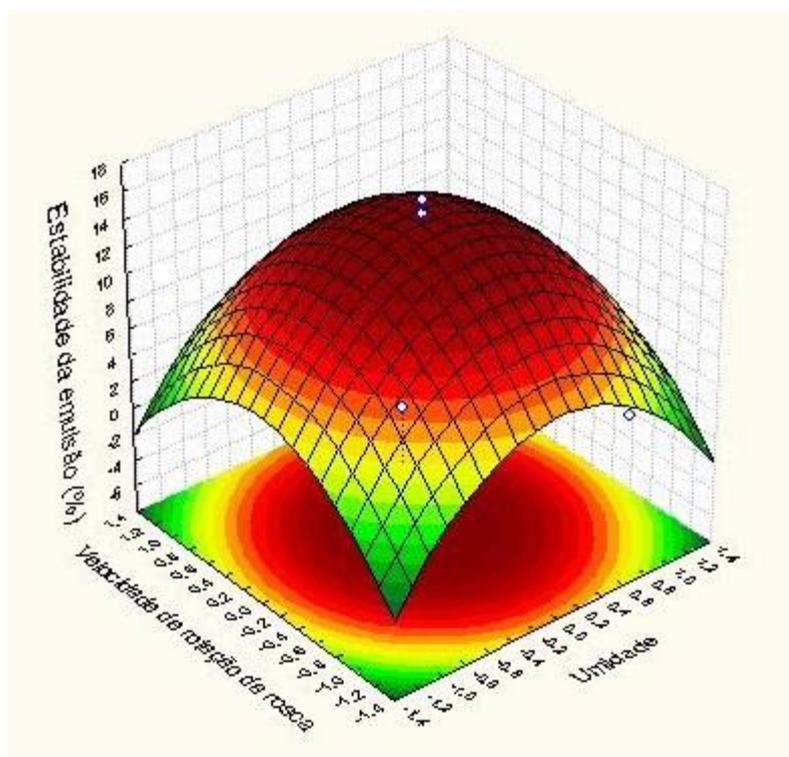


A estabilidade da emulsão dos extrusados variou de 1,3 a 16,4% (Tabela 12). Estes resultados são menores quando comparados com os resultados encontrados para farinha desengordurada de soja (51,8 – 52,6%) e proteína isolada de soja (97 – 100%) (DENCH; RIVAS; CAYGILL, 1981). A baixa estabilidade da emulsão na PTS está relacionada com o alto grau de desnaturação proteica, dada pelo aquecimento e alta taxa de cisalhamento do processo. De acordo com Sgarbieri (1996), as proteínas são excelentes emulsificantes, por possuírem partes hidrofílicas e hidrofóbicas em sua molécula. A estabilidade da emulsão está relacionada à capacidade da proteína manter a mistura óleo-água homogênea. Porém, essa estabilidade pode ser afetada por alguns fatores, como a temperatura, tamanho das partículas, pH, quantidade e tipo de proteína. A desnaturação proteica, portanto, prejudica a formação da interface óleo-água.

O melhor ajuste para a estabilidade da emulsão foi observado para o modelo quadrático (Tabela 13), apesar do baixo valor de R^2 , sendo que a umidade da PCS e a velocidade de rotação da rosca no ponto central ($U = 34\%$; $VR = 216$ rpm) maximizou a estabilidade da emulsão da PTS (Figura 19). Uma maior solubilidade da proteína em água contribuiu para a diminuição da tensão interfacial entre os componentes hidrofóbicos e hidrofílicos, melhorando as propriedades emulsificantes, como a estabilidade da emulsão. Entretanto, as propriedades emulsificantes também dependem do balanço hidrofílico-lipofílico da proteína em particular (WANG et al., 2007). Acredita-se que, no presente trabalho, apesar da

solubilidade da proteína ter se mostrado maior em umidades menores da PCS (Figura 18), a umidade de 34% da PCS, ou a velocidade de rotação da rosca de 216 rpm, favoreceu o balanço hidrofílico-lipofílico no extrusado, sendo este reduzido na medida em que os valores de ambas as variáveis independentes afastaram-se do ponto central.

Figura 19: Estabilidade da emulsão dos extrusados em função da umidade da PCS e da velocidade de rotação da rosca (segundo delineamento experimental).



Ao contrário dos resultados encontrados para as propriedades físicas, os extrusados sem adição de tiamina não apresentaram diferença significativa de alguns dos pontos centrais com relação às propriedades funcionais. Dessa forma, a adição de tiamina não alterou as propriedades funcionais dos extrusados.

3.2.4 Características sensoriais dos extrusados

A intensidade do odor de carne variou de 1,26 (suave a suave-moderado) a 1,76 (suave-moderado a moderado) e para o extrusado sem adição de tiamina foi de 0,63 (muito suave a suave), valor menor que os ensaios 9, 10 e 11 (Tabela 14).

O ideal da intensidade do odor de carne variou de 4,01 (ligeiramente menos intenso que o ideal) a 4,97 (intensidade ideal), sendo que a maioria das médias para os extrusados do delineamento, adicionados de tiamina, aproximou-se da intensidade ideal. Já o extrusado sem adição de tiamina apresentou uma média de 2,84 (muito menos intenso que o ideal a moderadamente menos intenso que o ideal), sendo menor que os valores encontrados para os ensaios 9, 10 e 11, demonstrando que a intensidade do odor de carne do produto adicionado de tiamina está mais próxima do ideal (Tabela 14).

A aceitação do odor de carne variou 6,13 a 6,59 (ambos de gostei levemente a gostei moderadamente). A aceitação do extrusado sem tiamina foi de 4,19 (desgostei levemente a nem gostei nem desgostei) e também menor que os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11. Houve uma boa aceitação por um substituto de carne que tenha as características sensoriais similares às da carne (Tabela 14).

A intensidade do odor de carne foi dependente dos termos linear e quadrático da umidade (Tabela 15). A umidade da PCS próxima aos valores do ponto central do delineamento (34%) maximizou a intensidade do odor de carne nos extrusados (Figura 20).

Tabela 14: Média \pm desvio padrão para os parâmetros sensoriais dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 86).

Ensaio	U (%)	VR (rpm)	Intensidade do odor de carne*	Ideal da intensidade do odor de carne**	Aceitação do odor de carne***
1	-1	-1	1,57 \pm 0,62	4,73 \pm 1,08	6,59 \pm 1,50
2	1	-1	1,75 \pm 0,67	4,94 \pm 1,43	6,37 \pm 1,58
3	-1	1	1,43 \pm 0,73	4,57 \pm 1,41	6,24 \pm 1,70
4	1	1	1,70 \pm 0,74	4,86 \pm 1,47	6,19 \pm 1,72
5	-1,41	0	1,26 \pm 0,70	4,01 \pm 1,33	6,13 \pm 1,54
6	1,41	0	1,76 \pm 0,70	4,92 \pm 1,54	6,17 \pm 1,67
7	0	-1,41	1,62 \pm 0,70	4,59 \pm 1,28	6,45 \pm 1,43
8	0	1,41	1,76 \pm 0,67	4,81 \pm 1,31	6,48 \pm 1,63
9	0	0	1,73 \pm 0,62 ^a	4,78 \pm 1,38 ^a	6,27 \pm 1,46 ^a
10	0	0	1,76 \pm 0,64 ^a	4,97 \pm 1,37 ^a	6,40 \pm 1,59 ^a
11	0	0	1,72 \pm 0,56 ^a	4,77 \pm 1,16 ^a	6,48 \pm 1,47 ^a
Extrusado sem tiamina	0	0	0,63 \pm 0,68 ^b	2,84 \pm 1,69 ^b	4,19 \pm 1,80 ^b

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

*Escala de intensidade: 0=nenhum; 0,25=fracamente detectável; 0,5=muito suave; 1=suave; 1,5=suave-moderado; 2=moderado; 2,5=moderado-forte; 3=forte.

**Escala do ideal: 1=extremamente menos intenso que o ideal; 2=muito menos intenso que o ideal; 3=moderadamente menos intenso que o ideal; 4=ligeiramente menos intenso que o ideal; 5=intensidade ideal; 6= ligeiramente menos intenso que o ideal; 7= moderadamente mais intenso que o ideal; 8=muito mais intenso que o ideal; 9= extremamente mais intenso que o ideal.

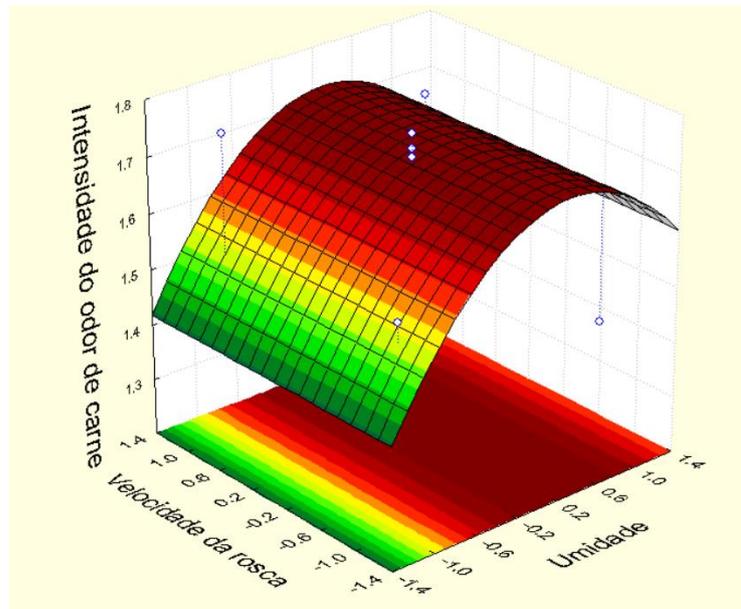
***Escala hedônica: 1=desgostei extremamente; 2=desgostei muitíssimo; 3=desgostei moderadamente; 4=desgostei levemente; 5=nem gostei nem desgostei; 6=gostei levemente; 7=gostei moderadamente; 8=gostei muitíssimo; 9=gostei extremamente.

Tabela 15: Modelos quadrático e linear para as características sensoriais dos extrusados do segundo delineamento experimental.

Variáveis dependentes	Modelo quadrático	R ² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Intensidade do odor de carne	$y_1 = 1,73 + 0,14x_1 - 0,11x_1^2$	88,21	0,004	0,251
Variáveis dependentes	Modelo linear	R ² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Ideal da intensidade do odor de carne	$y_2 = 4,72 + 0,22x_1$	76,46	0,023	0,530

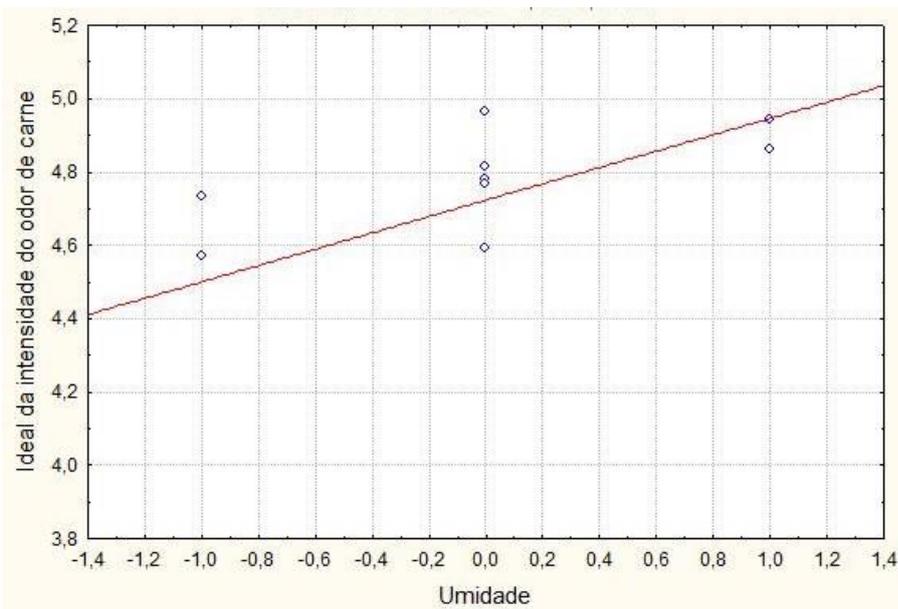
x_1 = umidade da PCS (b.s.).

Figura 20: Intensidade do odor de carne dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).



O melhor ajuste para o ideal da intensidade do odor de carne foi encontrado para o modelo linear, sendo dependente positivamente da umidade (Tabela 15). Um aumento na umidade da PCS levou a uma maior nota para o ideal da intensidade do odor nos extrusados (Figura 21). Porém, é possível observar pelo gráfico que quando a umidade da PCS está próxima do ponto central, obtendo uma intensidade maior do odor (Figura 20), a nota do ideal da intensidade (aproximadamente 4,7) ainda é próxima de 5,0 (intensidade ideal) (Figura 21).

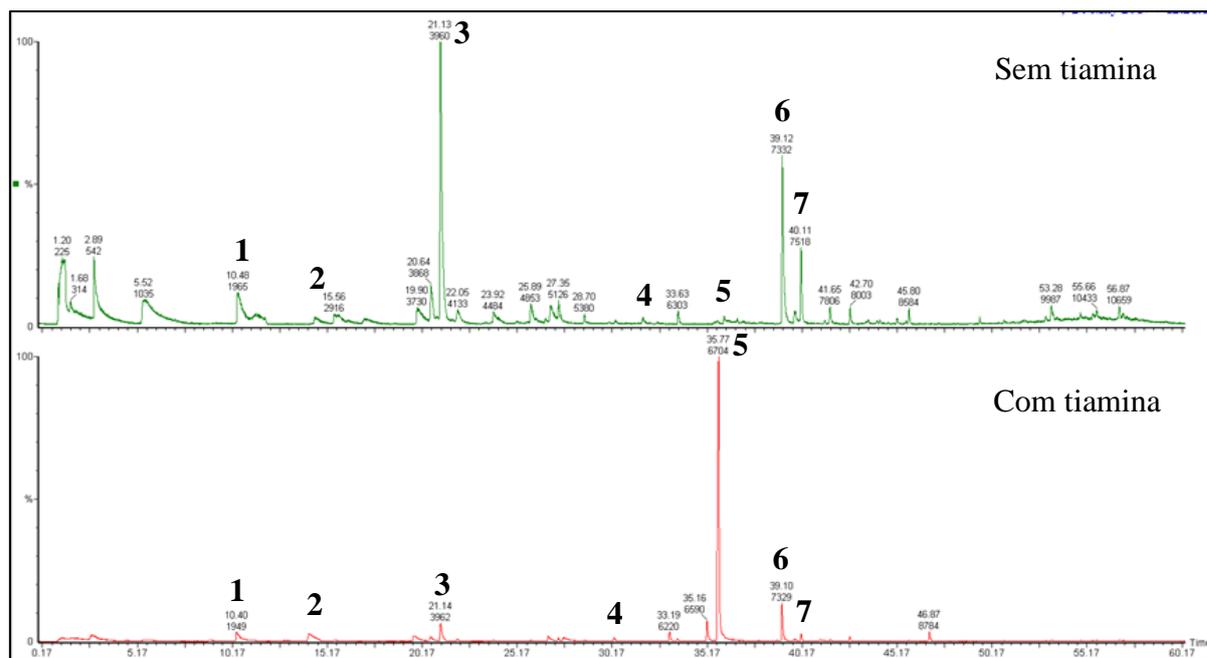
Figura 21: Ideal da intensidade do odor de carne dos extrusados em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).



3.2.5 Teor de compostos voláteis nos extrusados

A Figura 22 apresenta, como ilustração, os cromatogramas do extrusado sem a adição de tiamina e de um extrusado adicionado de tiamina. Nos cromatogramas de todas as amostras, seis picos foram considerados relevantes, por apresentarem correlação acima de 50% com as bibliotecas espectrais de massa NIST MS *Search* versão 2.0 (Tabela 16). Além disso, os índices de retenção calculado e obtido da NIST Livro de Química na Web confirmam os compostos voláteis identificados, visto a proximidade de seus valores (Tabela 16).

Figura 22: Cromatogramas dos extrusados sem tiamina e com tiamina*.



*Extrusado obtido a 34% de umidade da PCS e 216 rpm de velocidade da rosca.

Compostos voláteis identificados nos extrusados: (1) Hexanal; (2) 2-metil-3-furantiol; (3) 2-pentilfurano; (4) 2-pentiltiofeno; (5) 4-metil-5-tiazoletanol (Sulfuro); (6) Eugenol; (7) 2-butil-2-octenal.

Tabela 16: Compostos voláteis identificados nos extrusados do segundo delineamento experimental por CG-EM.

Composto	Tempo de retenção (min)	IRL ^a	IRL NIST ^b	#CAS	Fórmula química	Massa molecular	Notas de odor ^c
Hexanal	10,4	798	799	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	100	grama, sebo, gorduroso
2-metil-3-furantiol	14,3	868	867	28588-74-1	C ₅ H ₆ OS	114	carne
2-pentilfurano	21,1	990	990	3777-69-3	C ₉ H ₁₄ O	138	feijão verde, manteiga
2-pentiltiofeno	30,3	1163	1164	4861-58-9	C ₉ H ₁₄ S	154	frutado, gorduroso, <i>cranberry</i>
4-metil-5-tiazoletanol (Sulfurol)	35,8	1275	1271	137-00-8	C ₆ H ₉ NOS	143	carne, gorduroso, carne assada, tostado, enxofre, metálico
Eugenol ^d	39,1	1349	1352	97-53-0	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164	-
2-butil-2-octenal	40,1	1371	1372	13019-16-4	C ₁₂ H ₂₂ O	182	presunto curado/carne

^aÍndice de retenção linear calculado a partir do padrão de alcanos (C7 – C30).

^bÍndice de retenção linear segundo NIST Livro de Química na Web (<https://webbook.nist.gov/chemistry>).

^cFlavornet (<http://www.flavornet.org>) e/ou The Good Cents Company (<http://www.thegoodscentcompany.com>).

^dPadrão Interno adicionado.

Dentre os compostos voláteis identificados, destacam-se as notas de odores referentes aos compostos sulfurados, como o 2-metil-3-furantiol, o 2-pentiltiofeno e o 4-metil-5-tiazoletanol, já citados em diversos estudos como responsáveis pela formação de aroma de carne nos alimentos (ALIANI; FARMER, 2005; BA et al., 2012; BAEK et al., 2001; DONALD S., 1998; GÜNTERT et al., 1992; MAJCHER; JELEŃ, 2005; TANG et al., 2013; VARAVINIT et al., 2000). De acordo com Resconi, Escudero e Campo (2013), os compostos sulfurados têm um papel importante no aroma de carne por possuírem limiares de detecção muito baixos.

Dentre os compostos voláteis presentes no extrusado sem tiamina o maior pico obtido foi para o composto 2-pentilfurano (Figura 22), que tem notas odoríferas de feijão verde e manteiga, o qual pode estar relacionado ao odor da soja. Para todos os extrusados adicionados de tiamina, destaca-se o pico para o composto 4-metil-5-tiazoletanol (Figura 22), o qual é responsável pelas notas de carne, carne assada, tostado e gorduroso, característico de carne. Song et al. (2010) conduziram uma análise por cromatografia a gás-olfatometria para investigar as mudanças das notas odoríferas no processo de obtenção de aroma de carne a partir de diferentes graus de hidrólise enzimática de caldo de carne e identificaram a presença do 4-metil-5-tiazoletanol em 50% das amostras. Em outro estudo, para comparação dos perfis de aroma de sete diferentes processos de formação de aroma de carne, também foi identificado o composto 4-metil-5-tiazoletanol (SONG et al., 2012).

Os demais compostos identificados (hexanal, 2-metil-3-furantiol, 2-pentiltiofeno e 2-butil-2-octenal) também possuem notas odoríferas importantes para os extrusados adicionados de tiamina, seja por remeterem diretamente à carne, ou de forma indireta por possuírem notas de gordura.

Nota-se que, estatisticamente, não houve diferença no teor de compostos voláteis entre os extrusados do ponto central com tiamina e o extrusado sem tiamina (Tabela 17), provavelmente devido ao alto desvio-padrão obtido para algumas amostras. No entanto, a presença dos compostos voláteis também no extrusado sem tiamina pode ser justificado pelo fato de a proteína concentrada de soja poder apresentar até 0,32 mg de tiamina/100 g (PERKINS, 1995), levando à degradação térmica desta vitamina durante o processo de extrusão, formando os compostos voláteis.

Tabela 17: Média \pm desvio padrão para o teor de compostos voláteis, expressa em área relativa, dos extrusados do segundo delineamento experimental e do extrusado sem adição de tiamina (n = 3).

Ensaio	U (%)	VR (rpm)	Hexanal	2-metil-3-furantiol	2-pentilfurano	2-pentiltiofeno	4-metil-5-tiazoletanol	2-butil-2-octenal
1	-1	-1	0,74 \pm 0,22	0,56 \pm 0,03	0,82 \pm 0,12	0,12 \pm 0,02	4,18 \pm 2,07	0,29 \pm 0,02
2	1	-1	2,77 \pm 0,21	0,90 \pm 0,17	1,81 \pm 0,21	0,24 \pm 0,06	9,60 \pm 1,94	0,67 \pm 0,05
3	-1	1	0,69 \pm 0,30	0,61 \pm 0,39	0,61 \pm 0,22	0,09 \pm 0,03	6,27 \pm 4,89	0,24 \pm 0,12
4	1	1	3,30 \pm 0,47	0,84 \pm 0,30	1,52 \pm 0,29	0,21 \pm 0,03	6,79 \pm 2,85	0,81 \pm 0,07
5	-1,41	0	0,74 \pm 0,74	0,80 \pm 0,44	0,67 \pm 0,37	0,09 \pm 0,05	7,67 \pm 3,59	0,18 \pm 0,06
6	1,41	0	2,95 \pm 0,45	0,98 \pm 0,22	1,58 \pm 0,27	0,25 \pm 0,04	6,89 \pm 3,70	0,80 \pm 0,06
7	0	-1,41	1,17 \pm 0,57	0,61 \pm 0,28	0,72 \pm 0,37	0,11 \pm 0,06	4,62 \pm 0,60	0,29 \pm 0,12
8	0	1,41	1,65 \pm 0,53	1,29 \pm 0,04	1,52 \pm 0,55	0,21 \pm 0,08	13,75 \pm 3,74	0,47 \pm 0,10
9	0	0	1,86 \pm 1,46 ^{ns}	0,90 \pm 0,64 ^{ab}	1,05 \pm 0,76 ^{ns}	0,14 \pm 0,10 ^{ab}	9,36 \pm 7,00 ^{ns}	0,39 \pm 0,24 ^{ns}
10	0	0	1,95 \pm 0,65 ^{ns}	1,44 \pm 0,45 ^a	1,97 \pm 0,76 ^{ns}	0,29 \pm 0,12 ^a	10,05 \pm 2,79 ^{ns}	0,57 \pm 0,13 ^{ns}
11	0	0	1,54 \pm 0,71 ^{ns}	1,20 \pm 0,28 ^a	1,34 \pm 0,61 ^{ns}	0,22 \pm 0,11 ^{ab}	7,53 \pm 3,03 ^{ns}	0,38 \pm 0,17 ^{ns}
Extrusado sem tiamina	0	0	0,48 \pm 0,07 ^{ns}	0,02 \pm 0,02 ^b	1,44 \pm 0,58 ^{ns}	0,02 \pm 0,02 ^b	0,01 \pm 0,01 ^{ns}	0,29 \pm 0,12 ^{ns}

U: umidade da proteína concentrada de soja (b.s.); VR: velocidade de rotação da rosca.

Letras diferentes em uma mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey, considerando apenas os extrusados dos ensaios 9, 10 e 11 (pontos centrais do delineamento - com tiamina) e o extrusado sem tiamina.

ns: não significativo.

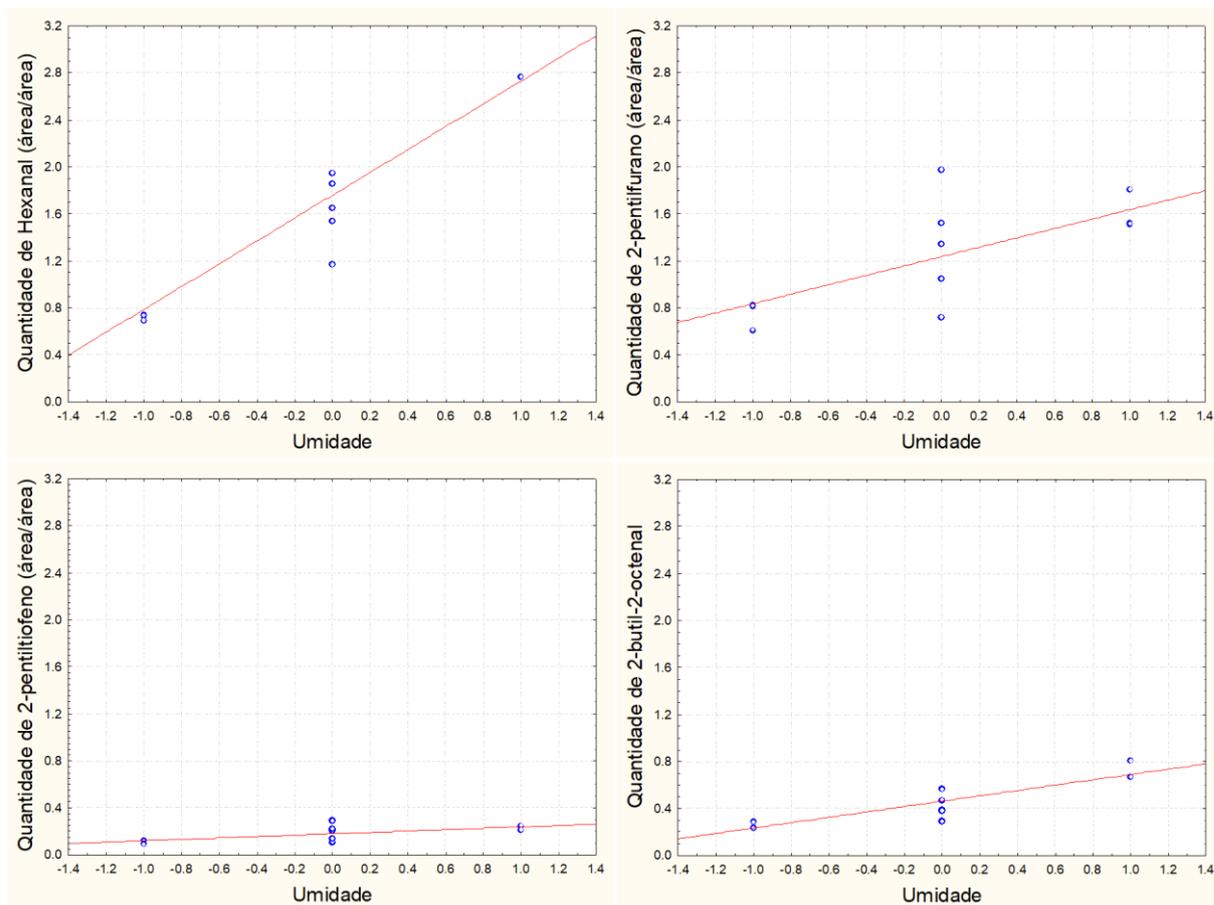
A umidade da PCS teve efeito sobre os compostos hexanal, 2-pentilfurano, 2-pentiltiofeno e 2-butil-2-octenal (Tabela 18). Desta maneira, o aumento da umidade da matéria-prima extrusada resultou em aumento no teor destes compostos voláteis (Figura 23).

Tabela 18: Modelos lineares para os teores de compostos voláteis dos extrusados do segundo delineamento experimental.

Variáveis dependentes	Modelo linear	R ² ajustado (%)	Valor de p	Falta de ajuste
Hexanal	$y_1 = 1,76 + 0,97x_1$	88,49	0,000	0,312
2-pentilfurano	$y_2 = 1,24 + 0,40x_1$	45,35	0,037	0,818
2-pentiltiofeno	$y_3 = 0,18 + 0,06x_1$	44,05	0,040	0,863
2-butil-2-octenal	$y_4 = 0,46 + 0,23x_1$	85,60	0,000	0,766

x_1 = umidade da PCS (b.s.).

Figura 23: Teor dos compostos voláteis em função da umidade da PCS (segundo delineamento experimental).



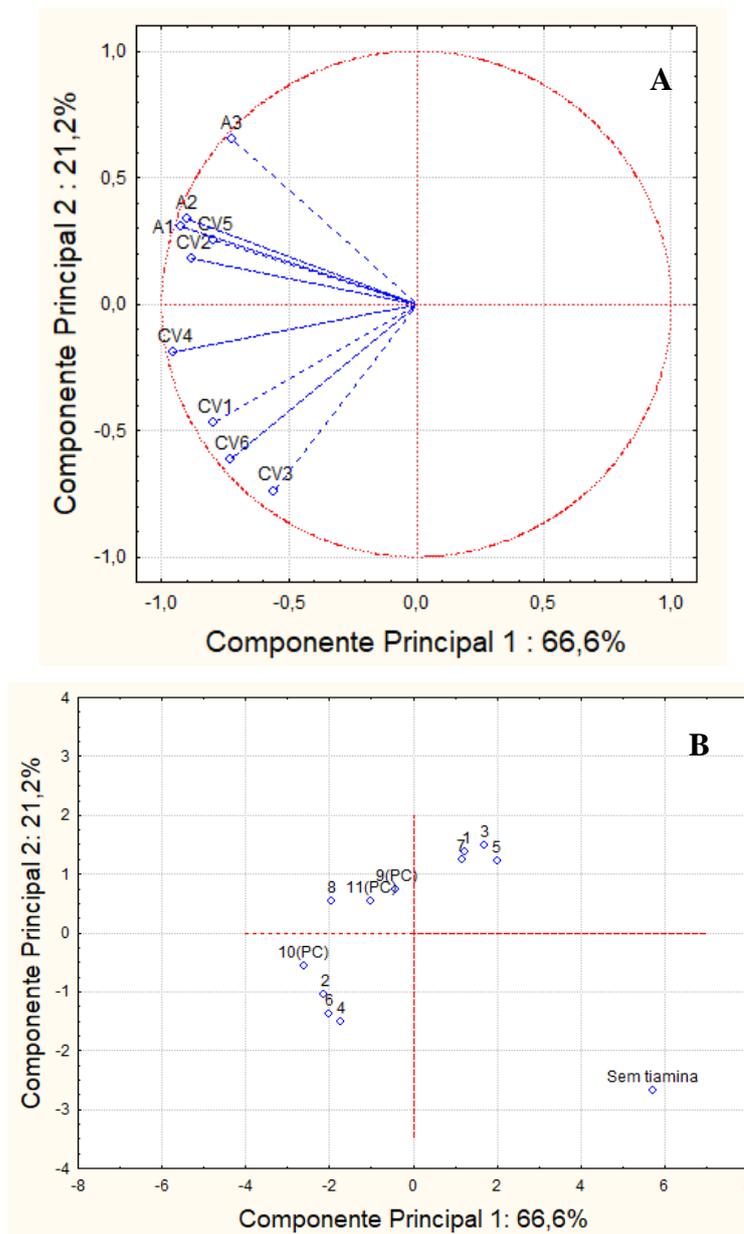
Observando que apenas a umidade da PCS teve influência sobre os compostos voláteis, assim como para as características sensoriais do extrusado, fez-se uma análise de componentes principais (ACP) para estabelecer correlações entre as variáveis. A ACP mostrou que o primeiro componente principal explicou 66,6% da variação dos dados e o segundo componente principal explicou 21,2%, totalizando 87,8% da variação total dos dados (Figura 24).

O primeiro componente principal foi explicado por todas as variáveis, exceto pelo composto 2-pentilfurano. Essas variáveis foram correlacionadas positivamente, ou seja, quanto maior o teor dos compostos voláteis, maior a aceitação da intensidade e do ideal da intensidade do odor de carne e também da aceitação do odor de carne dos extrusados (Figura 24A).

Os extrusados dos ensaios 1, 3 e 5, os quais foram obtidos pela extrusão da PCS com baixas umidades (30, 30 e 28,4%, respectivamente), e o ensaio 7, referente ao extrusado com umidade da PCS intermediária e com menor velocidade de rotação da rosca, destacaram-se pela baixa intensidade e aceitação do odor de carne (Figura 24B). Já os extrusados dos ensaios 2, 4 e 6, obtidos a partir da extrusão da PCS com maiores umidades (38, 38 e 39,6%, respectivamente), foram caracterizados pelo alto teor dos compostos voláteis hexanal, 2-pentilfurano e 2-butil-2-octenal. Os extrusados referentes ao ponto central do delineamento (ensaios 9, 10 e 11) e o extrusado do ensaio 8, também processado com a umidade da PCS de 34% porém com maior velocidade de rotação da rosca, destacaram-se pela intensidade do odor de carne, ideal da intensidade do odor de carne e aceitação do odor de carne, características correlacionadas positivamente com os compostos 2-metil-3-furantiol, 4-metil-5-tiazoletanol e 2-pentiltiofeno. Ou seja, extrusados com umidade de matéria-prima de 34% e com velocidade de rotação da rosca de 216 ou 242 rpm destacaram-se pelo alto teor de compostos voláteis com notas odoríferas de carne, aumentando a aceitação do produto. Nota-se, portanto, em extrusados com mesma umidade da PCS (34%), o benefício da maior velocidade de rotação da rosca nas características sensoriais do produto, devido a menor exposição do material às condições de processo no interior da extrusora.

O extrusado sem adição de tiamina, por sua vez, apresentou baixo teor de compostos voláteis característicos do produto, levando a uma baixa aceitação quanto ao odor de carne (Figura 24B). A ACP confirmou o efeito relevante da umidade da proteína concentrada de soja nas características de odor de carne do produto, além da maior aceitação da proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne pela adição de tiamina.

Figura 24: Análise de componentes principais entre a aceitação sensorial, a intensidade de odor de carne e o teor de compostos voláteis dos extrusados (A – Projeção das variáveis, B – Projeção das amostras).



CV1: Hexanal; CV2: 2-metil-3-furantiol; CV3: 2-pentilfurano; CV4: 2-pentiltiofeno; CV5: 4-metil-5-tiazoletanol; CV6: 2-butil-2-octenal; A1: Intensidade do odor de carne; A2: Ideal da intensidade do odor de carne; A3: Aceitação do odor de carne.

4. CONCLUSÕES

A extrusão da proteína concentrada de soja adicionada de tiamina resultou em extrusados com adequadas propriedades físicas e funcionais e com odor de carne, sendo que a adição de tiamina não influenciou nas propriedades funcionais. Além disso, a adição da tiamina aumentou a intensidade de odor de carne no extrusado e aceitação do odor para este produto. Considerando o segundo delineamento experimental, o aumento da umidade da PCS reduziu o tempo de residência, a razão de expansão e a solubilidade da proteína em água, e aumentou a densidade, o ideal da intensidade do odor de carne e o teor dos compostos voláteis hexanal, 2-pentilfurano, 2-pentiltiofeno e 2-butil-2octenal nos extrusados. A maior intensidade do odor de carne foi percebida quando a umidade esteve em torno do ponto central, garantindo ainda uma boa nota para o ideal da intensidade do odor de carne. A redução da velocidade de rotação da rosca aumentou a força de corte do produto hidratado e reduziu o croma da cor, porém, a velocidade de rotação em torno do ponto central minimizou a cromaticidade vermelha e maximizou a tonalidade cromática, indicando predominância da cromaticidade amarela dos extrusados. A estabilidade da emulsão foi maximizada com a umidade da PCS e a velocidade de rotação da rosca em torno do ponto central, mas sem interação entre essas variáveis independentes. Embora os compostos voláteis 2-metil-3-furantiol e 4-metil-5-tiazoletanol, com notas odoríferas de carne, não tenham sido influenciados pela umidade da PCS, eles caracterizaram, juntamente com o 2-pentiltiofeno, os extrusados obtidos sob condições do ponto central do delineamento ($U=34\%$; $VR=216$ rpm), o que foi correlacionado positivamente com a aceitação da intensidade odor de carne, do ideal da intensidade do odor de carne e da aceitação do odor de carne dos extrusados. Portanto, a adição pré-extrusão de tiamina à PCS e a condição de processo referente ao ponto central do delineamento permitiram obter extrusados com estrutura adequada (razão de expansão $> 2,0$), boa texturização (baixa solubilidade proteica), cor predominantemente amarela e maior intensidade do odor de carne, sendo que esta foi aceita como sendo a intensidade ideal para o produto. Assim, a adição pré-extrusão de precursores de aroma, por meio da tiamina, mostrou-se como um método promissor na obtenção de extrusados de soja aromatizados.

REFERÊNCIAS

ALIANI, M.; FARMER, L. J. Precursors of chicken flavor. II. Identification of key flavor precursors using sensory methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 16, p. 6455–6462, 2005.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International: método oficial 925.10**. 16. ed., v. 2. Gaithersburg: 1997.

ARÊAS, J. A. G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 4, p. 365–392, 1992.

ASGAR, M. A. et al. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 5, p. 513–529, 2010.

ASP, N.-G.; BJÖRCK, I. Nutritional properties of extruded foods. In: MERCIER, C.; LINKO, P.; HARPER, J. M. (Eds.). **Extrusion cooking**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1989. p. 399–434.

ATKINSON, W. T. **Meat-like protein food product**. Patente USA3488770, 1970.

BA, H. V et al. Principle of Meat Aroma Flavors and Future Prospect. In: AKYAR, I. (Ed.). **Latest research into quality control**. [s.l.] InTech, 2012.

BAEK, H. H. et al. Aroma extract dilution analysis of a beeflike process flavor from extruded enzyme-hydrolyzed soybean protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 790–793, 2001.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4. ed., Porto Alegre: Bookman, 2010. p. 288-294.

BISHARAT, G. I. et al. Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. **Food Research International**, v. 53, n. 1, p. 1–14, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Brasília, 2004.

BRENNAN, M. A. et al. Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 893–902, 2013.

CARVALHO, G. R. et al. Textured soy protein, collagen and maltodextrin as extenders to improve the physicochemical and sensory properties of beef burger. **Food Science and Technology**, v. 37, n. suppl 1, p. 10–16, 2017.

CHÁVEZ-JÁUREGUI, R. N.; SILVA, M. E. M. P. E.; ARÊAS, J. A. G. Extrusion Cooking Process for Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.). **Journal of food science**, v. 65, n. 6, p. 1009–1015, 2000.

CHEN, L. et al. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 887–897, 2011.

CONTI-SILVA, A. C. et al. Effects of extrusion on the emulsifying properties of rumen and soy protein. **Food Biophysics**, v.4, n.2, p. 94-102, 2010.

CONTI-SILVA, A. C.; BASTOS, D. H. M.; ARÊAS, J. A. G. The effects of extrusion conditions and the addition of volatile compounds and flavour enhancers to corn grits on the retention of the volatile compounds and texture of the extrudates. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 9, p. 1896–1902, 2012.

DAMODARAN, S.; ARORA, A. Off-flavor precursors in soy protein isolate and novel strategies for their removal. **Annual review of food science and technology**, v. 4, p. 327–46, 2013.

DAY, L.; SWANSON, B. G. Functionality of protein-fortified extrudates. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 5, p. 546–564, 2013.

DE MESA, N. J. E. et al. Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 262–270, 2009.

DENCH, J. E.; RIVAS R., N.; CAYGILL, J. C. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 32, n. 6, p. 557–564, 1981.

DONALD S., M. Flavour formation in meat and meat products: a review. **Food Chemistry**, v. 62, n. 4, p. 415–424, 1998.

DUANGMAL, K.; SAICHEUA, B.; SUEEPRASAN, S. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 8, p. 1437–1445, 2008.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 32–38, 2014.

GUERRERO, P. et al. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 1, p. 53–59, 2012.

GÜNTERT, M. et al. Thermally degraded thiamin. In: TERANISHI, ROY; TAKEOKA, GARY R.; GÜNTERT, M. (Ed.). **Flavor Precursors: Thermal and enzymatic conversions**. Washington: America Chemical Society, 1992. p. 140–163.

INKLAAR, P. A.; FORTUIN, J. Determining the emulsifying and emulsion stabilizing capacity of protein meat additives. **Food Technology**, v. 23, p. 103-107, 1969.

KATAYAMA, M.; WILSON, L. A. Utilization of soybeans and their components through the development of textured soy protein foods. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 3, p. 158–164, 2008.

LAI, W. T. et al. A review: Modified agricultural by-products for the development and fortification of food products and nutraceuticals. **Trends in Food Science and Technology**, v. 59, p. 148–160, 2017.

LAZOU, A.; KROKIDA, M. Structural and textural characterization of corn-lentil extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 3, p. 392–408, 2010.

LIN, S.; HUFF, H. E.; HSIEH, F. Extrusion Process Parameters, Sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analog. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1066–1072, 2002.

LIU, K. S.; HSIEH, F. H. Protein-protein interactions in high moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels. **JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 84, n. 8, p. 741–748, 2007.

MACFIE, H. J., BRATCHELL, N., GREENHOFF, K. & VALLIS, L.V. Designs to balance the effect of order presentation and first-order carry-over effects in hall tests. **Journal of Sensory Studies**, v. 4, p. 129–148, 1989.

MAJCHER, M. A.; JELEŃ, H. H. Identification of potent odorants formed during the preparation of extruded potato snacks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 16, p. 6432–6437, 2005.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3. ed. ed. Boca Raton: CRC Press, 1999.

MENIS, M. E. C. et al. Extrusion of flavored corn grits: Structural characteristics, volatile compounds retention and sensory acceptability. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 434–439, 2013.

MILANI, T. M. G. et al. Pre-extrusion aromatization of a soy protein isolate using volatile compounds and flavor enhancers: Effects on physical characteristics, volatile retention and sensory characteristics of extrudates. **Food Research International**, v. 62, p. 375–381, 2014.

MOHAMMED, Z. H.; HILL, S. E.; MITCHELL, J. R. Covalent Crosslinking in Heated Protein Systems. **Journal of food science**, v. 65, n. 2, p. 221–226, 2000.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability to food engineers**. New York: John Wiley & Sons, 2006.

OMWAMBA, M.; MAHUNGU, S. M. Development of a Protein-Rich Ready-to-Eat Extruded Snack from a Composite Blend of Rice, Sorghum and Soybean Flour. **Food and Nutrition Sciences**, v. 5, n. 14, p. 1301–1310, 2014.

PARADA, J.; AGUILERA, J. M.; BRENNAN, C. Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 3, p. 324–332, 2011.

PERKINS, E. G. Composition of soybeans and soybean products. In: ERICKSON, D. R. (Ed.). **Practical handbook of soybean processing and utilization**. Champaign: AOCS, 1995. p. 9–28.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. **Produtos protéicos de soja**. In: OETTERER, MARÍLIA; REGITANO-D'ARCE, MARISA APARECIDA BISMARA; SPOTO, M. H. F. (Ed.). **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. 1. ed. ed. Barueri: Manole, 2006. p. 612.

REIFSTECK, B. M.; JEON, I. J. Retention of Volatile Flavors in Confections By Extrusion Processing. **Food Reviews International**, v. 16, n. 4, p. 435–452, 2000.

RESCONI, V. C.; ESCUDERO, A.; CAMPO, M. M. The development of aromas in ruminant meat. **Molecules**, v. 18, n. 6, p. 6748–6781, 2013.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos: propriedades, degradações, modificações**. São Paulo: Varela, 1996.

SONG, S. et al. Contribution of beef base to aroma characteristics of beeflike process flavour assessed by descriptive sensory analysis and gas chromatography olfactometry and partial least squares regression. **Journal of Chromatography A**, v. 1217, n. 49, p. 7788–7799, 2010.

SONG, S. et al. Contribution of oxidized tallow to aroma characteristics of beeflike process flavour assessed by gas chromatography-mass spectrometry and partial least squares regression. **Journal of Chromatography A**, v. 1254, p. 115–124, 2012.

TANG, W. et al. Flavor chemistry of 2-methyl-3-furanthiol, an intense meaty aroma compound. **Journal of Sulfur Chemistry**, v. 34, n. 1–2, p. 38–47, 2013.

VARAVINIT, S. et al. Production of Meat-Like Flavor. **Science Asia**, v. 26, p. 219–224, 2000.

WANG, S. H. et al. Wheat-soybean flour precooked by extrusion for use in beef croquettes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 572–578, 2007.

YANG, A. et al. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenases. **Food Science and Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 207–215, 2016.

YU, L.; RAMASWAMY, H. S.; BOYE, J. Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 279–289, 2013.

YU, L.; RAMASWAMY, H. S.; BOYE, J. Twin-screw Extrusion of Corn Flour and Soy Protein Isolate (SPI) Blends: A Response Surface Analysis. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 2, p. 485–497, 2012.

YULIANI, S. et al. Application of Microencapsulated Flavor to Extrusion Product. **Food Reviews International**, v. 20, n. 2, p. 163–185, 2004.

YULIANI, S. et al. Effect of extrusion parameters on flavour retention, functional and physical properties of mixtures of starch and D-limonene encapsulated in milk protein. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 41, n. SUPPL. 2, p. 83–94, 2006b.

YULIANI, S. et al. Extrusion of mixtures of starch and D-limonene encapsulated with β -cyclodextrin: Flavour retention and physical properties. **Food Research International**, v. 39, n. 3, p. 318–331, 2006a.

YULIANI, S.; TORLEY, P. J.; BHANDARI, B. Physical and Processing Characteristics of Extrudates Made from Starch and d-Limonene Mixtures. **International Journal of Food Properties**, v. 12, n. 3, p. 482–495, 2009.

ZHU, L. J. et al. Mechanical and microstructural properties of soy protein - High amylose corn starch extrudates in relation to physiochemical changes of starch during extrusion. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 2, p. 232–238, 2010.

CAPÍTULO 3

ELABORACIÓN DE PRODUCTOS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA COM ODOR E SABOR DE CARNE

ELABORAÇÃO DE PRODUTOS À BASE DE PROTEÍNA TEXTURIZADA DE SOJA COM ODOR E SABOR DE CARNE

1. INTRODUÇÃO

O interesse dos consumidores em alimentos saudáveis vem aumentando nos últimos anos, juntamente com sua necessidade de informação quanto ao processamento e teor nutricional dos alimentos. De acordo com Singh et al. (2008), algumas projeções indicam que a área de dieta e saúde continuará a aumentar em importância sob a forma de calorias controladas e alimentos nutricionalmente adaptados. Neste sentido, uma evidente relação entre alimentação e saúde vem sendo observada, levando a uma tendência mundial em relação à ingestão de produtos alimentícios com propriedades promotoras de saúde, além do seu valor nutricional (ACEVEDO-FANI; SOLIVA-FORTUNY; MARTÍN-BELLOSO, 2017). Indústrias de alimentos enfrentam o desafio de fornecer alimentos nutritivos que ofereçam também sabor, textura e aparência aceitáveis. Assim, a introdução da proteína de soja nas formulações é uma oportunidade para oferecer alimentos nutritivos e econômicos, visto que, segundo Lai et al. (2017), a proteína de soja possui menor custo em relação à carne, quase zero teor de gordura e zero teor de colesterol. Além disso, um aumento no consumo de proteína da dieta a partir de fontes vegetais é recomendado, já que fontes de proteína vegetal têm baixa densidade de energia, alto teor de fibras, além da sua produção estar associada a uma menor emissão de gases do efeito estufa (NIELSEN et al., 2018).

Neste contexto da demanda por alimentos saudáveis (livre de colesterol e baixo teor de gordura saturada), produtos de soja trazem benefícios para a saúde por causa do seu alto teor de ácidos graxos poli-insaturados, fibras, minerais (sódio, potássio, fósforo, ferro, magnésio, zinco e cálcio) e vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, ácido nicotínico e ácido ascórbico), além do baixo teor de ácidos graxos saturados, e por ser fonte de proteína de alta qualidade devido à composição balanceada de seus aminoácidos, principalmente em relação ao alto teor de lisina, que é um aminoácido essencial limitante na maioria dos cereais (ASGAR et al., 2010). Além disso, a soja é fonte de vários componentes de ação funcional, como os associados à ação antioxidante (compostos fenólicos, isoflavonas e ácido fítico) (KATAYAMA; WILSON, 2008; OMONI; ALUKO, 2005; YU; RAMASWAMY; BOYE, 2012).

A proteína texturizada de soja (PTS) é obtida da extrusão termoplástica de farinha ou proteína concentrada de soja, ocorrendo a desnaturação proteica e a inativação dos inibidores de tripsina. Depois de reidratada, a PTS possui textura fibrosa semelhante à da carne, e por isso é considerada um substituto de carne (SINGH et al., 2008). Os substitutos de carne podem ser utilizados em formulação de hambúrgueres vegetarianos, recheios de sanduíches, na forma de pedaços ou picados (ELZERMAN; BOEKEL; LUNING, 2013). Ainda, de acordo com grupo de foco realizado por Elzerman, Boekel e Luning (2013), no qual os consumidores discutiram suas experiências com substitutos de carne, foram apontadas algumas razões para o consumo de substituto de carne, como variação na dieta, estilo de vida vegetariano, falta de confiança na qualidade da carne, mais saudável que a carne e ensinar às crianças sobre alternativas à carne. Entretanto, o sabor indesejável de produtos à base de soja, atribuído à presença das lipoxigenases e isoflavonas, limitam o seu consumo (YANG et al., 2016). Por isso, a utilização de uma proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne é uma alternativa que pode elevar a qualidade sensorial dos produtos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi elaborar e caracterizar produtos à base de PTS com odor e sabor de carne, sendo que a PTS, previamente hidratada, foi aplicada de duas maneiras: 1) como análogo de carne (carne de soja), no qual o produto é consumido diretamente, após adicionado de temperos e 2) como ingrediente, na formulação de hambúrguer de soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

A proteína concentrada de soja (PCS), Arcon® SM, foi fornecida pela ADM Foods & Wellness (Decatur/IL, Estados Unidos) com as seguintes especificações: mínimo de 70% de proteína (base seca), máximo de 3% de lipídeos, máximo de 20% e 5% de fibras e cinzas, respectivamente; índice de proteína dispersável (IPD) de, no mínimo, 60%; e formação de emulsão com uma parte de proteína para cinco partes de água e cinco partes de óleo. Sua granulometria era de no máximo de 10% dos grânulos retidos em peneira com abertura de 0,149 mm.

A tiamina (Vitamina B₁), que foi empregada como o precursor de aroma de carne, foi adquirida da Sigma-Aldrich Ltda (Milwaukee, USA), na forma de hidrocloreto de tiamina (pureza \geq 99%).

O óleo de soja (Liza), sal (Cisne), glutamato monossódico (Ajinomoto), salsa desidratada (Crisalho) e cebolinha desidratada (Crisalho) foram adquiridos no mercado local de São José do Rio Preto, Brasil. A cebola em pó foi fornecida pela Doremus Alimentos Ltda. (Guarulhos, Brasil) e o espessante carboximetilcelulose (CMC), Denvercel FG-5000, na forma de carboximetilcelulose de sódio (pureza $\geq 99,5\%$ e viscosidade entre 5000 e 6000 cP), foi fornecido pela Denver Especialidades Químicas Ltda. (São Paulo, Brasil).

2.2. Denominação dos produtos elaborados

Carne de soja, proteína de soja ou análogo de carne são nomes populares dados à proteína texturizada de soja (PTS) que, após hidratação, possui algumas características sensoriais similares à da carne. Uma das suas formas de comercialização é na forma granulada que, durante o preparo doméstico, é aquecida e temperada após a hidratação, tornando-se um análogo de carne moído temperado.

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade (RTIQ), que tem por objetivo fixar a identidade e as características mínimas de qualidade de um produto, hambúrguer é o produto cárneo industrializado obtido da carne moída dos animais de açougue, adicionado ou não de tecido adiposo e ingredientes, moldado e submetido a processo tecnológico adequado. A carne, que pode ser de diferentes espécies animais, é um ingrediente obrigatório (BRASIL, 2000).

Desta maneira, para tornar mais simplificado o entendimento do texto neste trabalho, a PTS granulada, hidratada e temperada, será chamada de “análogo de carne” e o produto à base de soja, tipo hambúrguer, mesmo não adicionado de carne, será chamado de “hambúrguer de soja”.

2.3. Escolha dos tratamentos para a produção de proteína texturizada de soja

As proteínas texturizadas de soja (extrusados de proteína concentrada de soja), utilizadas na elaboração do análogo de carne e do hambúrguer de soja, foram desenvolvidas previamente, cujas condições de extrusão e caracterizações foram descritas no Capítulo 2.

Dentre os 11 ensaios do segundo delineamento experimental (Capítulo 2), no qual as variáveis independentes foram a umidade da PCS e a velocidade de rotação da rosca (VR), dois diferentes tratamentos foram escolhidos para serem utilizados na obtenção das PTS a serem utilizadas nos produtos. Para a escolha, foram considerados os resultados das principais

características físicas e sensoriais dos extrusados. O primeiro tratamento (ensaio 5; umidade da PCS = 28,4%; VR = 216 rpm) foi escolhido por ter apresentado valores baixos para intensidade do odor de carne, ideal da intensidade do odor de carne e aceitação do odor de carne, além de alta razão de expansão. O segundo tratamento (ponto central do delineamento; umidade da PCS = 34%; VR = 216 rpm;) foi escolhido por ter apresentado características distintas do primeiro, ou seja, apresentou alta intensidade do odor de carne, intensidade do odor de carne próximo ao ideal (valor 5,0) e alta razão de expansão (acima de 2,0).

Além dos tratamentos com adição pré-extrusão de tiamina, o tratamento sem adição de tiamina (umidade da PCS = 34%; VR = 216 rpm) também foi escolhido, a fim de comparar os resultados dos produtos que foram elaborados. Assim, um total de três tratamentos foi escolhido para ser utilizado na obtenção das PTS que foram utilizadas na elaboração do análogo de carne e de hambúrguer de soja.

2.4. Ajuste da umidade da proteína concentrada de soja

A umidade inicial da PCS foi determinada pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997). Posteriormente, as umidades foram ajustadas de acordo com os valores necessários para a extrusão. A quantidade necessária de água adicionada à matéria-prima (A) para obter materiais com as diferentes umidades finais foi calculada utilizando a equação:

$$A = \left[\frac{(100 - U_i) \times U_f}{100} \right] - U_i ,$$

sendo U_i e U_f as umidades inicial (base úmida, %) e final (base seca, %) da amostra, respectivamente.

Foi utilizada uma batedeira planetária de bancada, modelo Gastromaq BP 5, da GPaniz Ind. de Equip. p/ Alim. Ltda. (Caxias do Sul/RS, Brasil), de batedor aramado que, contendo a matéria-prima, permaneceu ligada na velocidade mínima (90 rpm). Com o auxílio de um borrifador, água destilada, previamente pesada, foi continuamente aspergida até que toda ela fosse acrescentada ao material. Ao final, a amostra foi acondicionada em saco de polietileno (com 0,2 mm de espessura) e estocada em geladeira (aproximadamente 5 °C) por 2 dias para o equilíbrio da umidade. As umidades dos materiais foram novamente analisadas pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997).

As amostras do material com as umidades ajustadas foram retornadas à temperatura ambiente antes da extrusão.

2.5. Produção da proteína texturizada de soja

A fim de verificar a repetibilidade do processo de extrusão, cada tratamento escolhido para ser utilizado na obtenção das PTS, foi extrusado em duplicada, totalizando 6 amostras de PTS.

Foi utilizada uma extrusora com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24) da INBRAMAQ – Indústria de Máquinas Ltda. (Ribeirão Preto/SP, Brasil). A extrusora foi preparada com 3 camisas helicoidais, rosca única de passo largo, com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1, uma subtrafila com orifícios de 5,5 mm de diâmetro cada e uma trafilha com um orifício de 3,2 mm de diâmetro.

As condições de extrusão foram:

- temperaturas: zona 1 = 30 °C, zona 2 = 60 °C, zona 3 = 80 °C, zona 4 = 145 °C e zona 5 = 160 °C;
- bomba de água ligada no nível mínimo de resfriamento, para estabilidade da temperatura nas zonas de aquecimento;
- velocidade de alimentação: 170 g/min;
- velocidade de rotação da rosca: 216 rpm
- umidade da PCS (b.s.): conforme Tabela 1.

Tabela 1: Condições de extrusão da proteína concentrada de soja para obtenção da PTS.

Amostra	Ordem da extrusão	Umidade da PCS (b.s.) (%)	Tiamina
1	1º	34,0	Não
2	2º	34,0	Não
3	6º	28,4	Sim
4	4º	28,4	Sim
5	5º	34,0	Sim
6	3º	34,0	Sim

Quatro porções de PCS (aproximadamente 3 kg cada), devidamente preparadas com as umidades a serem utilizadas no processo, foram adicionadas de 1,5% de tiamina cada (Tabela 1), duas horas antes da extrusão. Essa mistura foi feita utilizando uma batedeira planetária de bancada, modelo, Gastromaq BP 5, da GPaniz Ind. de Equip. p/ Alim. Ltda. (Caxias do Sul/RS, Brasil), batendo na velocidade de 150 rpm, por um minuto. As amostras foram mantidas à temperatura ambiente até o momento da extrusão.

Duas porções de PCS (aproximadamente 3 kg cada), com 34% de umidade em base seca, foram preparadas para serem extrusadas sem adição de tiamina (Tabela 1).

A ordem de extrusão dos ensaios foi aleatorizada (Tabela 1), por meio de sorteio realizado previamente. Como as amostras sem adição de tiamina deveriam ser extrusadas primeiro, foram feitos dois sorteios: um entre as amostras sem adição de tiamina e outro entre as amostras com adição de tiamina.

Antes do início da extrusão, 500 g de PCS (34% de umidade em base seca) foram extrusadas com objetivo de estabilizar o funcionamento do equipamento. Além disso, o início e final do lote de cada ensaio foram descartados para evitar extrusados oriundos da mistura de lotes durante a troca de ensaio.

Após a extrusão, os extrusados de PCS foram acondicionados em sacos plásticos de polietileno (0,2 mm de espessura), os quais foram selados e armazenados à temperatura ambiente e em local protegido da luz até o momento do preparo da PTS granulada.

As amostras de PTS foram produzidas seguindo as boas práticas de fabricação.

2.6. Preparação e padronização granulométrica da proteína texturizada de soja granulada

A PTS, seja para a elaboração do análogo de carne ou do hambúrguer de soja, precisava estar na forma granulada e com granulometria padronizada. Para isso, as seis amostras de PTS foram trituradas em liquidificador Philips-Walita, modelo RI 2034, 600W, batendo pequenas porções por vez, na velocidade mínima, por um tempo médio de 30 a 60 s, até que toda a amostra fosse cominuída. Em seguida, cada amostra de PTS triturada, em sua totalidade, passou por um peneiramento, feito em um agitador de peneiras eletromagnético para análises granulométricas (Bertel Indústria Metalúrgica Ltda.), contendo quatro peneiras, com aberturas de 5,66; 4,00; 2,83 e 1,68 mm, e o fundo. Para cada amostra, porções de aproximadamente 500 g da PTS triturada foram adicionadas na peneira superior (peneira com abertura de 5,66

mm) e agitadas numa frequência média, por 5 min. Após este procedimento, a PTS granulada contida em cada peneira foi acondicionada, separadamente, em sacos plásticos de polietilenos. Repetiu-se o procedimento até que toda a amostra de PTS granulada fosse separada por granulometria. Por fim, o lote de cada amostra de PTS foi reformulado de maneira que sua granulometria ficasse padronizada, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Padronização granulométrica (%) da proteína texturizada de soja por peneira e fundo.

<i>Mesh</i> (ABNT) ^a	Tamanho dos grânulos (mm)	Quantidade no lote (%)
3 ^{1/2}	T ^b > 5,66	25
5	5,66 > T > 4,00	14
7	4,00 > T > 2,83	14
12	2,83 > T > 1,68	14
Fundo	T < 1,68	33

^aNúmero da peneira em que os grânulos ficaram retidos (malha).

^bT: tamanho dos grânulos.

As amostras de PTS granulada, com a granulometria padronizada, foram acondicionadas em embalagens multicamadas de filme laminado de poliéster, alumínio e polietileno (0,22 mm de espessura), com maior barreira ao aroma, as quais foram seladas em uma seladora de pedal (Barbi, Hermet 400). Em seguida, foram armazenadas à temperatura ambiente e em local protegido da luz até o momento do preparo das formulações.

2.7. Preparação do análogo de carne

Utilizando uma formulação básica (Tabela 3), foram preparadas 6 amostras de análogo de carne, variando apenas a PTS utilizada (Tabela 1).

Para o preparo do análogo de carne, a PTS granulada foi hidratada em água destilada, previamente aquecida a 100 °C, na proporção PTS:água de 1:4. Os extrusados permaneceram imersos na água durante 15 min, sem aquecimento. Em seguida, em uma panela, aqueceu-se em fogo baixo o óleo de soja e adicionou-se a PTS hidratada, sal, glutamato monossódico e cebola em pó. Os ingredientes foram misturados sob aquecimento por 2 min, buscando a

homogeneidade do produto. Ao final do aquecimento, foram adicionadas a salsa e a cebolinha desidratada, finalizando o processo com uma breve mistura.

Tabela 3: Formulação básica do preparo do análogo de carne.

Item	Quantidade (%)
Proteína texturizada de soja (PTS)	18,9
Água (para hidratação)	75,5
Óleo de soja	3,5
Sal	1,0
Glutamato monossódico	0,4
Cebola em pó	0,3
Salsa desidratada	0,2
Cebolinha desidratada	0,2

As análises foram realizadas logo após o preparo das amostras. Quando necessário, o análogo de carne foi mantido em aquecimento (fogo baixo), para que a temperatura não fosse inferior a 50 °C, até o momento da sua utilização na análise. Obedecendo às boas práticas para serviços de alimentação (BRASIL, 2013) e para evitar alterações nas características do produto, nenhuma amostra foi utilizada ou consumida após 30 min do seu preparo.

2.8. Produção do hambúrguer de soja

Utilizando uma formulação básica (Tabela 4), foram produzidas 6 amostras de hambúrguer de soja, variando apenas a PTS utilizada (Tabela 1).

Para a produção do hambúrguer de soja, a PTS granulada foi hidratada em água destilada, previamente aquecida a 100 °C, na proporção PTS:água de 1:3. Os extrusados permaneceram imersos na água durante 15 min, sem aquecimento. Em seguida, o sal, glutamato monossódico, cebola em pó e CMC foram adicionados à PTS hidratada e misturados manualmente até a completada distribuição dos ingredientes. Por fim, adicionou-se o óleo e a água morna (aproximadamente 50 °C) e todos os ingredientes foram misturados manualmente por 5 min, para a formação de uma massa homogênea. A massa foi levada à câmara fria e mantida sob refrigeração até atingir uma temperatura entre 4 – 8 °C. Para formatação dos hambúrgueres, porções de 56 g da massa resfriada foram pressionadas em

forma redonda (85 mm de diâmetro), forrada com filme plástico picotado de PVC. Por fim, os hambúrgueres foram acondicionados em bandejas plásticas, que foram levadas à câmara de congelamento, onde foram mantidos congelados a -18 °C até o momento do preparo.

Tabela 4: Formulação básica da produção do hambúrguer de soja.

Item	Quantidade (%)
Proteína texturizada de soja (PTS)	19,2
Água (para hidratação)	57,5
Óleo de soja	9,7
Água morna (adicional)	9,7
CMC (carboximetilcelulose)	2,0
Sal	1,0
Glutamato monossódico	0,5
Cebola em pó	0,4

O hambúrguer congelado foi grelhado em panela elétrica Dellar, modelo Classic DGR 161, previamente untada com óleo de soja. O preparo do hambúrguer foi feito sob aquecimento moderado (nível 3), por 3 min de cada lado, e depois em aquecimento alto (nível 5), por 1 min de cada lado. Tal procedimento garantiu que a temperatura de 74 °C fosse atingida no centro geométrico do produto (BRASIL, 2013).

As análises foram realizadas logo após o preparo das amostras. Quando necessário, o hambúrguer de soja foi mantido em aquecimento baixo (nível 1) para que a temperatura não fosse inferior a 50 °C, até o momento da sua utilização na análise. Obedecendo às boas práticas para serviços de alimentação (BRASIL, 2013) e para evitar alterações nas características do produto, nenhuma amostra foi utilizada ou consumida após 30 min do seu preparo.

2.9. Avaliação da capacidade de absorção de água do análogo de carne

O análogo de carne é consumido diretamente após a hidratação, por isso a capacidade de absorção de água pela PTS granulada é uma característica importante para a qualidade do produto. Assim, a capacidade de absorção de água da PTS granulada foi analisada em triplicata, de acordo com Lin, Huff e Hsieh (2002), com algumas modificações. Uma porção

de 2 g de amostra da PTS granulada foi pesada e hidratada com 80 mL de água destilada a 50 °C, em banho-maria, por 12 h. Em seguida a amostra foi drenada por 5 min e pesada. A capacidade de absorção de água (CAA) foi calculada de acordo com a equação:

$$CAA (\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad ,$$

na qual m_1 e m_2 são as massas das amostras de PTS granulada antes e depois da hidratação, respectivamente.

2.10. Avaliação do rendimento e encolhimento do hambúrguer de soja

Durante o preparo do hambúrguer de soja, ocorreram a perda de peso e a redução do diâmetro do produto, devido à perda de água decorrente do cozimento do produto. Desta maneira, o rendimento e encolhimento do hambúrguer de soja foram analisados de acordo com Piñero et al. (2008), para 10 replicatas de cada amostra.

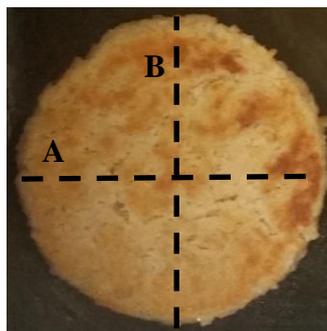
O rendimento foi determinado pela medida do peso da amostra de cada hambúrguer de soja antes (m_1) e depois (m_2) do cozimento, calculado segundo a equação:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100.$$

O encolhimento foi obtido da média dos dois diâmetros perpendiculares, A e B (Figura 1), de cada hambúrguer de soja antes (d_1) e depois (d_2) do cozimento, calculado conforme a equação:

$$\text{Encolhimento (\%)} = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100.$$

Figura 1: Ilustração das medidas perpendiculares para obtenção da média do diâmetro (d) do hambúrguer de soja.



2.11. Análise de textura do análogo de carne e do hambúrguer de soja

Utilizando texturômetro TA.XT/Plus/50, e programa Exponent (Stable Micro Systems, Godalming, Inglaterra), foram feitas a análise da força de compressão do análogo de carne e a análise do perfil de textura (TPA) do hambúrguer de soja (dez replicatas para cada amostra), da seguinte maneira:

- força de compressão do análogo de carne: o análogo de carne foi preparado conforme descrito no item 2.7 e submetida à análise logo após o preparo. A temperatura das amostras no momento da análise estava entre 46 a 50 °C. Foram feitas análises de 10 replicatas, de cada amostra, colocadas em um recipiente de plástico redondo (50 mm de altura e 45,6 mm de diâmetro interno) até uma altura de 20 mm. Para a análise foi utilizado um *probe* cilíndrico de acrílico, com diâmetro de 45 mm, velocidade de pré-teste de 2 mm/s, velocidade de teste de 1,5 mm/s, velocidade de pós-teste de 10 mm/s e 50% de compressão da amostra. A máxima força obtida, em Newtons (N), foi considerada como resultado da análise;

- análise do perfil de textura (TPA) do hambúrguer de soja: o hambúrguer de soja foi preparado conforme descrito no item 2.8 e submetido à análise logo após o preparo. A temperatura das amostras no momento da análise estava entre 50 a 60 °C. Foram feitas análises de 10 replicatas de cada amostra, cortadas com aproximadamente 25 mm de diâmetro. Para a análise foi utilizado um *probe* cilíndrico de alumínio com 36 mm de diâmetro, velocidade de pré-teste de 2 mm/s, velocidade de teste de 1 mm/s, velocidade de pós-teste de 10 mm/s e compressão de 50% da amostra (6 mm, já que todos os hambúrgueres já possuíam altura padronizada de 12 mm). Os parâmetros de textura avaliados foram dureza, coesividade, elasticidade e mastigabilidade.

2.12. Avaliação sensorial do análogo de carne e do hambúrguer de soja

As análises sensoriais dos produtos foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial, do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” de São José do Rio Preto/SP. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do mesmo instituto, pelo Parecer nº 1.295.789, de 26 de outubro de 2015 (Anexo A), e os consumidores assinaram duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice 2) antes das análises sensoriais.

As análises sensoriais do análogo de carne e do hambúrguer de soja foram realizadas separadamente, sendo que ambos os produtos foram avaliados em duas sessões. Na primeira sessão foi conduzida a análise de aceitação sensorial e, na segunda, a análise descritiva dos produtos, com os mesmos consumidores. O número de consumidores recrutados que participaram da primeira sessão (aceitação sensorial), que retornaram para a segunda sessão (análise descritiva) e o total considerado para o painel sensorial final (n), foi:

- carne moída: 84, 66 e 66, respectivamente;
- hambúrguer de soja: 107, 70 e 70, respectivamente.

2.12.1. Caracterização dos consumidores

Os consumidores foram recrutados dentre os alunos e funcionários do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas (Ibilce) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Após assinarem o TCLE, os consumidores foram convidados a preencher um questionário, com 7 perguntas, que foi elaborado utilizando o programa *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50, da Biosystemes (Couternon, França). Na tela apresentada aos consumidores aparecia apenas uma pergunta por vez (Figura 2), onde eles selecionavam a alternativa desejada até que todas as perguntas (Figura 3) fossem respondidas.

Figura 2: Exemplo da tela do questionário de recrutamento apresentada aos consumidores, utilizando o programa FIZZ *Sensory Analysis Software* versão 2.50.

Sexo:

Feminino

Masculino

Figura 3: Perguntas do questionário de caracterização dos consumidores inseridas no programa FIZZ *Sensory Analysis Software* versão 2.50.

1. Nome: _____
2. Sexo: () masculino () feminino
3. Idade: () até 25 anos
() 26 a 30 anos
() 31 a 40 anos
() 41 a 45 anos
() acima de 45 anos
4. Com que frequência você consome alimentos à base de soja?
() Diariamente
() Pelo menos 2 vezes por semana
() 1 vez por semana
() 1 vez a cada 15 dias
() Raramente
5. Quanto você gosta de alimentos à base de soja?
() Gosto muito
() Gosto pouco
() Indiferente
() Desgosto pouco
() Desgosto muito
6. Qual/Quais tipo(s) de alimento(s) à base de soja que você normalmente consome? (Assinale uma ou mais opções)
() Proteína texturizada de soja
() Suco de soja
() Leite de soja
() Tofu
() Outros. Citar: _____
7. Você consome algum tipo de carne ou produto cárneo? () sim () não
8. Você acha atrativo um produto que não é de carne, porém tem odor e sabor de carne? () sim () não

Os consumidores que declararam desgostar pouco ou desgostar muito de alimentos à base de soja (pergunta 5) foram excluídos da análise.

2.12.2. Análise de aceitação sensorial

Na primeira sessão de análise, o análogo de carne e o hambúrguer de soja foram avaliados quanto à aceitação da aparência, odor, textura, sabor e aceitação global, utilizando uma escala hedônica estruturada de nove pontos (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1999).

As fichas de avaliação foram elaboradas utilizando o programa *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50 (Couternon, França). Para cada amostra, foi apresentada uma sequência de telas aos consumidores, sendo que em cada tela apareceu o nome do atributo e a escala hedônica para ser respondida (Figura 4). Os atributos foram apresentados nesta sequência: aparência, odor, textura, sabor, e avaliação global. As telas foram respondidas até que todas as amostras foram avaliadas por cada consumidor.

Figura 4: Exemplo da tela apresentada aos consumidores para avaliação da aceitação sensorial usando o programa *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50.

Por favor, prove esta amostra e avalie o atributo, de acordo com a escala abaixo:

055 Aparência

Gostei extremamente 9

Gostei muitíssimo 8

Gostei moderadamente 7

Gostei levemente 6

Nem gostei nem desgostei 5

Desgostei levemente 4

Desgostei moderadamente 3

Desgostei muitíssimo 2

Próxima página

As amostras de análogo de carne foram servidas aos consumidores em copos plásticos, codificados com três dígitos aleatórios, cobertos com papel alumínio e contendo porções de aproximadamente 10 g do produto. Já as amostras de hambúrguer de soja foram servidas aos consumidores em pratos plásticos, codificados com três dígitos aleatórios, cobertos com papel

alumínio e contendo uma porção de hambúrguer de aproximadamente 14 g (referente à ¼ do hambúrguer).

Para cada consumidor, as amostras foram preparadas, conforme descrito nos itens 2.7 (análogo de carne) e 2.8 (hambúrguer de soja), no momento de sua chegada ao local da análise. E, a fim de manter a temperatura das amostras entre 50 e 60 °C, elas foram mantidas em uma caixa de isopor, no decorrer da análise por cada consumidor.

A análise de aceitação sensorial foi realizada em cabines individuais iluminadas com luz branca e à temperatura aproximada de 22 °C, onde foram apresentadas as 6 amostras (2 repetições de 3 tratamentos) na mesma sessão. As amostras foram apresentadas em bloco completo, de forma monádica e balanceada, cuja aleatorização e códigos aleatórios foi fornecida pelo próprio programa *FIZZ Sensory Analysis Software* versão 2.50. Um copo de água foi oferecido junto às amostras para que o consumidor pudesse tomar entre uma amostra e outra.

2.12.3. Análise descritiva *Rate-All-That-Apply* (RATA)

Na segunda sessão de análise, foram realizadas as análises descritivas do análogo de carne e do hambúrguer de soja, utilizando o método RATA (*Rate-All-That-Apply*). Tal metodologia é uma variante da metodologia CATA (*Check-All-That-Apply*), que vem sendo muito utilizada para obter a descrição sensorial de produtos, baseado na avaliação de consumidores, e tem como principal diferencial a obtenção de respostas quantitativas (MEYNER; JAEGER; ARES, 2016; SILVA; MINIM, 2016). De acordo com Ares et al. (2014), o método RATA já mostrou ter uma maior discriminação das amostras, se comparado ao método CATA.

Previamente à análise do RATA, foi feito o levantamento dos atributos a serem incluídos na lista do RATA, por meio da técnica de grupo de foco.

a) Grupo de foco para definição dos atributos da lista do RATA

Foram realizadas duas sessões de grupo de foco: uma sessão para o levantamento dos atributos do análogo de carne e outra para o hambúrguer de soja. Portanto, para cada produto, houve apenas uma sessão de grupo de foco.

Para cada sessão foram recrutados 5 consumidores, que responderam a um questionário de caracterização de consumidores (Figura 5). Na sequência, foi utilizado um roteiro de perguntas para nortear a condução da sessão. Sendo assim, as questões foram:

1. O que você observa nestes produtos?
2. O que mais chama sua atenção nestes produtos?
3. Quais características você considera importante na aparência dos produtos?
4. Quais características você considera importante no aroma/odor dos produtos?
5. Quais características você considera importante na textura dos produtos?
6. Quais características você considera importante no sabor dos produtos?
7. Qual a sensação/emoção que os produtos trazem na sua memória?
8. O que você gostou nos produtos?
9. O que você não gostou nos produtos?

Figura 5: Questionário de caracterização de consumidores para o grupo de foco.

Questionário de caracterização de consumidores – Grupo de Foco	
1. Nome:	_____
2. Sexo:	<input type="checkbox"/> masculino <input type="checkbox"/> feminino
3. Idade:	<input type="checkbox"/> até 25 anos <input type="checkbox"/> 26 a 30 anos <input type="checkbox"/> 31 a 40 anos <input type="checkbox"/> 41 a 45 anos <input type="checkbox"/> acima de 45 anos
4. Com que frequência você consome alimentos à base de soja?	<input type="checkbox"/> Diariamente <input type="checkbox"/> Pelo menos 2 vezes por semana <input type="checkbox"/> 1 vez por semana <input type="checkbox"/> 1 vez a cada 15 dias <input type="checkbox"/> Raramente
5. Quanto você gosta de alimentos à base de soja?	<input type="checkbox"/> Gosto muito <input type="checkbox"/> Gosto pouco <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Desgosto pouco <input type="checkbox"/> Desgosto muito
6. Qual/Quais tipo(s) de alimento(s) à base de soja que você normalmente consome?	

Além do moderador, um assistente acompanhou o grupo, sem participar da discussão, com o objetivo de anotar as informações colhidas durante a sessão de análise. Adicionalmente, a sessão foi gravada integralmente, com a autorização de todo o grupo.

Ao início da sessão, o moderador explicou o objetivo da análise, como ela seria conduzida e ressaltou a importância da participação e opinião de todos, esclarecendo, inclusive, que não havia resposta correta para o roteiro de perguntas.

Foram preparadas 3 amostras (utilizando as amostras de PTS 2, 4 e 6 da Tabela 1: uma de cada tratamento, escolhida por sorteio entre o par da repetição), segundo o procedimento

dos itens 2.7 (análogo de carne) e 2.8 (hambúrguer de soja), e em seguida as amostras foram servidas juntas, de uma só vez, aos consumidores, sobre uma mesa a qual estavam todos reunidos.

Durante a sessão, os consumidores provaram os produtos e discutiram em grupo sobre as suas características, seguindo o roteiro de perguntas conduzido pelo moderador. Cada sessão de grupo de foco durou de 30 a 40 min.

Ao final da sessão, juntaram-se as informações obtidas das anotações do assistente e o que havia sido gravado, formando uma lista prévia de atributos. Porém, como alguns deles eram sinônimos ou similares, eles foram agrupados para formar a lista definitiva de atributos. Assim, foram considerados 15 atributos para as amostras de análogo de carne (Apêndice 3) e 17 atributos para as amostras de hambúrguer de soja (Apêndice 4).

b) Rate-All-That-Apply (RATA)

As mesmas 3 amostras de cada produto utilizadas para o grupo de foco (utilizando as amostras de PTS 2, 4 e 6 da Tabela 1) foram avaliadas por meio do RATA. Cada consumidor recebeu uma ficha de avaliação contendo a lista de atributos, juntamente com a amostra que deveria ser avaliada. As amostras foram apresentadas em bloco completo, de forma monádica e balanceada (programa FIZZ *Sensory Analysis Software* versão 2.50), em cabines iluminadas com luz branca e à temperatura aproximada de 22 °C. Além das amostras, os atributos foram aleatorizados na ficha de avaliação para cada amostra e cada consumidor, seguindo o delineamento William's Latin Square (VIDAL et al., 2017).

Aos consumidores foi solicitado para provar a amostra e analisar os atributos. No caso do atributo ser aplicável à amostra, ou seja, ser apropriado para descrever a amostra apresentada, o consumidor deveria assinalar a intensidade do atributo, usando uma escala estruturada de 3 pontos (intensidade baixa, intensidade média e intensidade alta). No caso do atributo não ser apropriado para descrever a amostra, ele deveria assinalar 'não aplicável'. Assim, para ser analisada, a escala foi estendida para 4 pontos e decodificada em valores numéricos (MEYNER; JAEGER; ARES, 2016; VIDAL et al., 2017), sendo: não aplicável = 0, intensidade baixa = 1, intensidade média = 2 e intensidade alta = 3.

As amostras de análogo de carne foram servidas aos consumidores em copos plásticos, codificados com três dígitos aleatórios, cobertos com papel alumínio e contendo porções de aproximadamente 10 g do produto. As amostras de hambúrguer de soja foram servidas aos consumidores em pratos plásticos, codificados com três dígitos aleatórios, cobertos com papel

alumínio e contendo uma porção de hambúrguer de aproximadamente 14 g (referente à ¼ do hambúrguer).

Para cada consumidor, as amostras foram preparadas, conforme descrito nos itens 2.7 (análogo de carne) e 2.8 (hambúrguer de soja), no momento de sua chegada ao local da análise. E, a fim de manter a temperatura média das amostras entre 50 e 60 °C, elas foram mantidas em uma caixa de isopor, no decorrer da análise por cada consumidor. Um copo de água foi oferecido junto às amostras para que o consumidor pudesse tomar entre uma amostra e outra.

2.13. Análise estatística dos dados

Para avaliar a repetibilidade do processo de extrusão, as médias dos resultados das repetições de cada tratamento (Tabela 1), com exceção do RATA, foram comparadas utilizando o teste t de Student para amostras pareadas e Microsoft Office Excel 2010. A maioria dos valores de p foram maiores que 0,05, indicando que não havia diferença significativa entre as repetições da extrusão (Apêndice 5). Portanto, os dados obtidos das repetições foram agrupados para compor uma única amostra, exceto para os dados da análise sensorial de aceitação dos produtos, em que cada amostra foi composta pela média dos dados das repetições de cada consumidor (MILANI et al., 2014).

As médias da capacidade de absorção de água do análogo carne, do rendimento e encolhimento do hambúrguer de soja e da textura dos dois produtos foram comparadas entre os três tratamentos utilizando análise de variância seguida do teste de Tukey. As médias da avaliação sensorial (aceitação e RATA) foram submetidas à análise de variância fator duplo (amostra e consumidor), seguida do teste de Tukey. As diferenças foram consideradas significativas quando $p \leq 0,05$.

Análises de componentes principais foram realizadas para o análogo de carne e para o hambúrguer de soja, a fim de investigar a correlação entre a aceitação sensorial e os atributos obtidos por meio do RATA. Para isso, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP), no Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Oklahoma, EUA). As médias das variáveis foram inseridas em colunas e as amostras em linhas, e os dados foram padronizados nas colunas antes da análise. A extração dos fatores foi feita a partir da correlação da matriz, sem rotação de fatores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta Seção, os resultados são apresentados por produto (análogo de carne e hambúrguer de soja).

3.1. Análogo de carne

No análogo de carne, a capacidade de absorção de água foi menor e a força de compressão foi maior para a amostra 28,4% U/com tiamina se comparada à amostra 34,0% U/sem tiamina (Tabela 5). Entretanto, os valores obtidos são compatíveis com a literatura (LIN; HUFF; HSIEH, 2002). Durante o processo de extrusão, a umidade mais baixa da matéria-prima favorece a formação de ligações cruzadas covalentes, aumentando a viscosidade do material e a desnaturação da proteína, levando a uma maior exposição dos grupos hidrofóbicos, que reduz a capacidade de absorção de água (VERBEEK; BERG, 2010).

A capacidade de absorção de água está relacionada com a textura do produto após a reidratação e, por isso, o produto com menor capacidade de absorção de água (28,4% U/com tiamina) apresentou maior força de compressão. Os valores de força de compressão podem ser considerados baixos, já que se trata de um produto reidratado, porém não foi encontrado na literatura trabalho similar para comparação.

Tabela 5: Média \pm desvio padrão para a capacidade de absorção de água (n = 6) e força de compressão (n = 20) das amostras de análogo de carne.

Análogo de carne	Capacidade de absorção de água (%)	Força de Compressão (N)
34,0% U Sem Tiamina	656 \pm 50 ^a	6,9 \pm 1,7 ^b
28,4% U Com Tiamina	484 \pm 93 ^b	10,6 \pm 5,9 ^a
34,0% U Com Tiamina	582 \pm 108 ^{ab}	5,3 \pm 2,7 ^b

U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Dos 66 consumidores que participaram da análise sensorial, 68% eram do sexo feminino e 32%, do masculino; 86% tinham de 18 a 30 anos; 76% consumiam alimentos à base de soja uma vez a cada quinze dias ou raramente; 71% disseram gostar pouco ou muito de alimentos à base de soja; 92% consomem algum tipo de carne ou produto cárneo e 94%

disseram achar atrativo um produto que, embora não seja de carne, tenha odor e sabor de carne. Ainda sobre o consumo de alimentos à base de soja, 53% dos consumidores declararam consumir proteína texturizada de soja, 50% suco de soja, 32% leite de soja e tofu, e 20% disseram consumir outros tipos alimentos, como requeijão, salgadinhos tipo petisco, farofa, grão de soja, molho, chocolate, hambúrguer, óleo e patê.

A avaliação da aceitação sensorial do análogo de carne apresentou diferença apenas para o odor (Tabela 6). A amostra sem adição de tiamina apresentou menor aceitação do odor ('não gostei nem desgostei' a 'gostei levemente'), se comparada às adicionadas de tiamina ('gostei levemente' a 'gostei moderadamente').

Tabela 6: Média \pm desvio padrão (n =132) para aceitação sensorial das amostras de análogo de carne.

Análogo de carne	Aparência	Odor	Textura	Sabor	Aceitação global
34,0% U Sem Tiamina	6,4 \pm 1,4 ^{ns}	5,6 \pm 1,3 ^b	6,3 \pm 1,5 ^{ns}	6,3 \pm 1,4 ^{ns}	6,2 \pm 1,4 ^{ns}
28,4% U Com Tiamina	6,2 \pm 1,5 ^{ns}	6,1 \pm 1,6 ^a	6,4 \pm 1,5 ^{ns}	6,2 \pm 1,8 ^{ns}	6,2 \pm 1,7 ^{ns}
34,0% U Com Tiamina	6,2 \pm 1,6 ^{ns}	6,3 \pm 1,5 ^a	6,4 \pm 1,5 ^{ns}	6,2 \pm 1,8 ^{ns}	6,2 \pm 1,6 ^{ns}

U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

ns = não significativo.

Escala hedônica: 1=desgostei extremamente; 2=desgostei muitíssimo; 3=desgostei moderadamente; 4=desgostei levemente; 5=nem gostei nem desgostei; 6=gostei levemente; 7=gostei moderadamente; 8=gostei muitíssimo; 9=gostei extremamente.

Dos 5 consumidores que participaram do grupo de foco para levantamento dos atributos, 60% eram do sexo feminino e 40%, do masculino; 100% tinham até 25 anos; 60% consumiam alimentos à base de soja diariamente ou pelo menos duas vezes por semana; 80% disseram gostar pouco ou muito de alimentos à base de soja. Os consumidores disseram consumir alimentos à base de soja, como leite de soja, soja cozida, hambúrguer e proteína texturizada de soja.

Para o análogo de carne, cinco atributos foram discriminados entre as amostras: odor de carne, odor de soja, gosto salgado, sabor residual de queimado e cheiroso (Tabela 7). As duas amostras adicionadas de tiamina apresentaram maiores intensidades para os atributos odor de carne, sabor residual de queimado e cheiroso em relação à amostra sem tiamina, além de menores intensidades de odor de soja. A adição de tiamina no processo de obtenção da

proteína texturizada de soja favoreceu o aumento da intensidade do odor de carne devido à presença de compostos voláteis com notas odoríferas que remetem à carne. Esse odor de carne despertou uma sensação afetiva positiva, pela maior intensidade atribuída ao atributo cheiroso. Quanto ao sabor residual de queimado, pode estar relacionado à presença do composto 4-metil-5-tiazoletanol (sulfurol), que possui notas odoríferas de carne assada e de tostado (THE GOOD CENTS COMPANY, 2018a).

Tabela 7: Média \pm desvio padrão para os atributos das amostras de análogo de carne (n = 66).

Análogo de carne	34,0% U Sem Tiamina	28,4 % U Com Tiamina	34,0% U Com Tiamina
<i>Aparência</i>			
1 Cor branca	1,09 \pm 1,02 ^{ns}	1,17 \pm 1,02 ^{ns}	1,26 \pm 0,98 ^{ns}
2 Cor caramelo	1,24 \pm 0,75 ^{ns}	1,20 \pm 0,75 ^{ns}	1,20 \pm 0,79 ^{ns}
3 Grânulos uniformes	1,39 \pm 0,91 ^{ns}	1,33 \pm 0,73 ^{ns}	1,35 \pm 0,89 ^{ns}
<i>Odor</i>			
4 Odor de carne	0,61 \pm 0,63 ^b	0,97 \pm 0,76 ^a	0,94 \pm 0,78 ^a
5 Odor de soja	1,89 \pm 1,01 ^a	1,39 \pm 0,91 ^b	1,48 \pm 0,90 ^b
<i>Textura</i>			
6 Textura borrachenta	1,41 \pm 0,86 ^{ns}	1,35 \pm 0,81 ^{ns}	1,56 \pm 0,91 ^{ns}
7 Textura esfarelenta/arenosa	1,24 \pm 0,96 ^{ns}	1,24 \pm 0,93 ^{ns}	1,26 \pm 0,95 ^{ns}
8 Textura úmida	2,14 \pm 0,70 ^{ns}	2,03 \pm 0,74 ^{ns}	2,12 \pm 0,85 ^{ns}
<i>Sabor</i>			
9 Gosto salgado	1,56 \pm 0,64 ^b	1,70 \pm 0,76 ^{ab}	1,88 \pm 0,87 ^a
10 Sabor de carne	0,94 \pm 0,78 ^{ns}	1,05 \pm 0,77 ^{ns}	1,08 \pm 0,79 ^{ns}
11 Sabor de miojo	1,42 \pm 1,02 ^{ns}	1,47 \pm 1,14 ^{ns}	1,62 \pm 1,15 ^{ns}
12 Sabor de tempero	2,03 \pm 0,72 ^{ns}	2,00 \pm 0,82 ^{ns}	2,11 \pm 0,75 ^{ns}
13 Sabor residual de queimado	0,18 \pm 0,43 ^b	0,70 \pm 0,94 ^a	0,80 \pm 1,03 ^a
<i>Afetivo</i>			
14 Cheiroso	1,18 \pm 0,72 ^b	1,68 \pm 0,90 ^a	1,56 \pm 0,86 ^a
15 Gostoso	2,03 \pm 0,80 ^{ns}	1,74 \pm 0,79 ^{ns}	1,85 \pm 0,92 ^{ns}

U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

ns = não significativo. Escala de intensidade dos atributos: 0=não aplicável; 1=intensidade baixa; 2=intensidade média; 3=intensidade alta.

O sabor residual de queimado também apresentou um desvio padrão maior que a média, fato que pode estar relacionado a utilização de uma escala pequena (de 0 a 3) e também pela análise ser realizada por consumidores não treinados.

A intensidade de odor de soja foi maior para a amostra de análogo de carne 34,0% U/sem tiamina (Tabela 7). Como esperado, a não adição pré-extrusão de tiamina na obtenção da proteína texturizada de soja não evidenciou as notas odoríferas de carne, prevalecendo as características odoríferas do produto padrão.

O gosto salgado foi mais intenso no análogo de carne 34,0% U/com tiamina em relação ao análogo de carne sem tiamina. Provavelmente, a presença de tiamina na matéria-prima também favoreceu a percepção do gosto salgado no análogo de carne.

Foi feita uma análise de componentes principais (ACP) entre os atributos do RATA e a aceitação sensorial. Para isso, consideraram-se todos os atributos do RATA, visto que houve uma frequência mínima de 5% de aplicação de todos os atributos sensoriais para todas as amostras avaliadas (Apêndice 6.1).

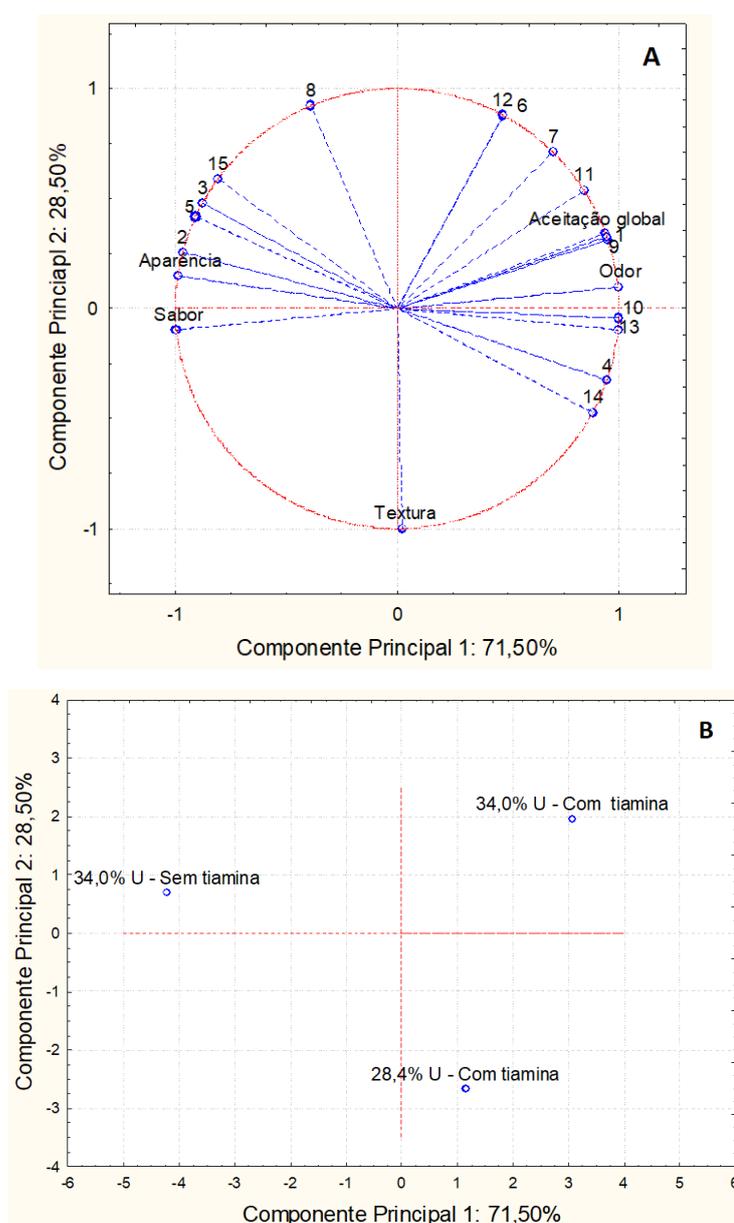
A ACP mostrou que o primeiro componente principal explicou 71,5% da variação dos dados e o segundo componente principal explicou 28,5%, totalizando 100% da variação total dos dados (Figura 6).

O primeiro componente principal foi explicado pelas variáveis relacionadas aos atributos de aparência, odor, sabor (exceto para sabor de tempero) e afetivo, que se distribuíram em dois grupos. O primeiro grupo foi formado pelos atributos cor branca, odor de carne, gosto salgado, sabor de carne, sabor de miojo, sabor residual de queimado e cheiroso, e pela aceitação do odor e aceitação global (cargas fatoriais $\geq 0,70$ no componente principal 1 da Figura 6A). O segundo grupo foi formado pelos atributos cor caramelo, grânulos uniformes, odor de soja e gostoso, e pela aceitação da aparência e do sabor (cargas fatoriais $\leq -0,70$ no componente principal 1 da Figura 6A). As variáveis do mesmo grupo correlacionaram-se positivamente entre si, porém negativamente com o outro grupo. Desta forma, quanto maior a intensidade do odor de carne e menor a intensidade do odor de soja, maior era a aceitação do odor e mais cheiroso era o produto. Por outro lado, quanto maior a intensidade da cor caramelo e dos grânulos uniformes e menor a intensidade da cor branca, maior a aceitação da aparência. Por fim, uma alta intensidade dos atributos de sabor (exceto o sabor de tempero), juntamente com a alta intensidade do odor de carne e da cor branca, aumentou a aceitação global do produto.

O segundo componente principal foi explicado pelos atributos de textura (textura borrachenta, textura esfarelenta/arenosa e textura úmida) e o sabor de tempero (cargas

fatoriais $\geq 0,70$ no componente principal 2 da Figura 6A), e pela aceitação da textura (carga fatorial $\leq -0,70$ no componente principal 2 da Figura 6A). Por se correlacionarem negativamente, quanto maior a intensidade dos atributos, menor a aceitação da textura (Figura 6A).

Figura 6: Análise de componentes principais entre os atributos da análise descritiva e a aceitação sensorial dos análogos de carne (A – Projeção das variáveis, B – Projeção das amostras).



U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Atributos: (1) cor branca; (2) cor caramelo; (3) grânulos uniformes; (4) odor de carne; (5) odor de soja; (6) textura borrachenta; (7) textura esfarelenta/arenosa; (8) textura úmida; (9) gosto salgado; (10) sabor de carne; (11) sabor de miojo; (12) sabor de tempero; (13) sabor residual de queimado; (14) cheiroso; (15) gostoso.

A amostra de análogo de carne 34,0% U/com tiamina foi caracterizada pela aceitação global, devido às intensidades de cor branca, odor de carne, gosto salgado, sabor de carne, sabor de miojo, sabor residual de queimado e cheiroso, e pela aceitação do odor, atribuída à alta intensidade do odor de carne e baixa intensidade do odor de soja (Figura 6B). A amostra de análogo de carne 28,4% U/com tiamina destacou-se pela aceitação da textura, devido às baixas intensidades de textura borrachenta, esfarelenta/arenosa e úmida (Figura 6B). Este resultado pode estar relacionado com a maior força de compressão e menor capacidade de absorção de água da amostra, assim como observado na Tabela 5. Essa amostra de análogo de carne se caracterizou também pelos atributos odor de carne e cheiroso.

A amostra de análogo de carne 34% U/sem tiamina foi descrita pela aceitação da aparência, devido à cor caramelo e grânulos uniformes, e pelo sabor devido ao atributo gostoso e por apresentar baixa intensidade do sabor de carne, sabor de miojo e sabor residual de queimado (Figura 6B). Este resultado foi inesperado, porque se esperava que os análogos de carne com tiamina destacassem-se pela aceitação do sabor. Entende-se que dois fatores podem ter levado a esse resultado:

- 1) o primeiro diz respeito ao sabor residual de queimado. Como o análogo de carne 34,0% U/com tiamina destacou-se em relação a essa característica, provavelmente isso reduziu a aceitação do sabor da amostra;
- 2) outra hipótese diz respeito à percepção sensorial dos compostos voláteis. Por exemplo, o 2-metil-3-furantiol e o 4-metil-5-tiazoletanol são compostos voláteis com notas odoríferas de carne, os quais se correlacionaram positivamente com a aceitação da intensidade de odor de carne e do ideal da intensidade do odor de carne e com a aceitação global do odor de carne dos extrusados obtidos com CPS com 34% de umidade no Capítulo 2. O 2-metil-3-furantiol é solúvel em álcool e insolúvel em água (THE GOOD CENTS COMPANY, 2018b), enquanto que o 4-metil-5-tiazoletanol é praticamente insolúvel em água e solúvel em óleo. Para serem percebidos, os compostos voláteis responsáveis pelo sabor devem ser liberados no *headspace* da boca e alcançar o epitélio olfativo na cavidade nasal, e os lipídeos do alimento, por sua vez, afetam a percepção de tais compostos. A liberação de compostos voláteis lipofílicos da fase oleosa de um alimento procede a uma taxa menor do que da fase aquosa. Isso se deve à maior resistência à transferência de massa no óleo/gordura que na água, assim os compostos voláteis precisam primeiro ser liberados da fase oleosa à fase aquosa (saliva) antes de serem liberados da fase aquosa ao *headspace* na boca para serem percebidos. Devido ao atraso na liberação dos compostos voláteis solúveis em óleo, a intensidade máxima desses compostos é percebida mais tardiamente em contrapartida àqueles compostos solúveis em água. Como

consequência, ocorrem mudanças nas características e intensidade do sabor com o tempo de mastigação e essas mudanças podem ser desejáveis, enriquecendo o sabor do alimento (percepção de duas ou mais notas de sabor sucessivamente) e prolongando a liberação do sabor (ROOS, 1997; VOILLEY; ETIÉVANT, 2006; TAYLOR; LINFORTH, 2010). Em produtos sem ou com reduzido teor de lipídeos, como é o caso deste atual trabalho, os compostos voláteis lipossolúveis desaparecem rapidamente após a quebra da estrutura do alimento com o início da mastigação, o que pode justificar a baixa intensidade de sabor de carne nos produtos com tiamina.

Essa segunda hipótese auxilia na observação de que os análogos de carne se caracterizaram pelo odor de carne, mas não pelo sabor de carne. Provavelmente, o teor baixo de lipídeos nos produtos pode ter contribuído para isso.

3.2. Hambúrguer de soja

Não foi observada diferença no rendimento entre os hambúrgueres de soja, mas o encolhimento foi maior para as amostras 34,0% U/sem tiamina e 34,0% U/com tiamina (Tabela 8). Carvalho et al. (2017), ao investigarem o efeito da adição de diversos extensores cárneos em formulação de hambúrguer, obtiveram um rendimento de 74,0% e encolhimento de 28,7% para hambúrguer de carne sem adição de extensores (amostra controle). No presente trabalho, o hambúrguer de soja mostrou um maior rendimento e um encolhimento bastante reduzido, se comparado a um hambúrguer elaborado apenas com proteína animal. A desnaturação da proteína resulta em consideráveis perdas de água e gordura durante o cozimento de hambúrguer de carne, o que leva à mudança de suas características físicas, como encolhimento, descoloração e perda da suculência (PAN; PAUL SINGH, 2001). Por outro lado, durante o processo de extrusão para obtenção da proteína texturizada de soja, as altas temperaturas e forças de cisalhamento favorecem e desnaturação da proteína, alterando seu balanço hidrofílico/hidrofóbico, podendo contribuir para o aumento ou diminuição da absorção de água (LEONEL; MARTINS; MISCHAN, 2010).

Quanto ao perfil de textura (TPA) do hambúrguer de soja, não houve diferença entre as amostras para nenhum parâmetro avaliado. Porém, os valores obtidos de dureza e mastigabilidade foram abaixo dos obtidos em hambúrguer de carne (dureza = 15,38 N; mastigabilidade = 8,23 N), e podem ter sido influenciados pela menor perda de água durante o preparo.

Tabela 8: Média \pm desvio padrão (n = 20) para o rendimento, encolhimento e textura dos hambúrgueres de soja.

Hambúrguer de soja	Rendimento (%)	Encolhimento (%)	Dureza (N)	Coabilidade	Elasticidade	Mastigabilidade (N)
34,0% U Sem Tiamina	85,1 \pm 2,0 ^{ns}	1,8 \pm 1,3 ^a	3,3 \pm 0,6 ^{ns}	0,33 \pm 0,03 ^{ns}	0,33 \pm 0,05 ^{ns}	0,37 \pm 0,11 ^{ns}
28,4% U Com Tiamina	85,5 \pm 3,2 ^{ns}	0,5 \pm 1,9 ^b	3,5 \pm 0,6 ^{ns}	0,34 \pm 0,05 ^{ns}	0,36 \pm 0,08 ^{ns}	0,45 \pm 0,20 ^{ns}
34,0% U Com Tiamina	86,4 \pm 2,5 ^{ns}	1,2 \pm 1,5 ^a	3,6 \pm 1,0 ^{ns}	0,35 \pm 0,06 ^{ns}	0,37 \pm 0,07 ^{ns}	0,49 \pm 0,25 ^{ns}

U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

ns = não significativo.

Dos 70 consumidores que participaram da análise sensorial, 70% eram do sexo feminino e 40%, do masculino; 87% tinham de 18 a 30 anos; 83% consumiam alimentos à base de soja uma vez a cada quinze dias ou raramente; 64% disseram gostar pouco ou muito de alimentos à base de soja; 86% consomem algum tipo de carne ou produto cárneo e 90% disseram achar atrativo um produto que, embora não seja de carne, tenha odor e sabor de carne. Ainda, sobre o consumo de alimentos à base de soja, 50% dos consumidores declararam consumir proteína texturizada de soja, 47% suco de soja, 34% leite de soja, 24% tofu e 13% disseram consumir outros tipos alimentos, como grão de soja, sopas, molho e chocolate.

Houve diferenças na aceitação sensorial de todos os atributos dos hambúrgueres de soja (Tabela 9). A aparência foi mais aceita para o hambúrguer de soja 34,0% U/sem tiamina, se comparado ao 34,0%U/com tiamina; e a textura foi mais aceita para o hambúrguer de soja 28,4% U/com tiamina se comparado ao 34,0% U/sem tiamina. Já os dois hambúrgueres com tiamina, embora com umidades diferentes da PCS, foram mais aceitos para o odor e sabor e também de forma global se comparados ao hambúrguer sem tiamina.

Assim, a adição de tiamina favoreceu a aceitação do odor, sabor e aceitação global, visto que os extrusados adicionados de tiamina apresentaram compostos voláteis com notas odoríferas importantes, como algumas relacionadas à carne ou à gordura (Capítulo 2).

Tabela 9: Média \pm desvio padrão (n =140) para aceitação sensorial dos hambúrgueres de soja.

Hambúrguer de soja	Aparência	Odor	Textura	Sabor	Aceitação global
34,0% U Sem Tiamina	7,5 \pm 1,2 ^a	6,7 \pm 1,2 ^b	6,4 \pm 1,4 ^b	6,3 \pm 1,5 ^b	6,4 \pm 1,3 ^b
28,4% U Com Tiamina	7,3 \pm 1,1 ^{ab}	7,2 \pm 1,2 ^a	6,8 \pm 1,2 ^a	6,9 \pm 1,2 ^a	6,9 \pm 1,2 ^a
34,0% U Com Tiamina	7,2 \pm 1,1 ^b	7,1 \pm 1,1 ^a	6,7 \pm 1,3 ^{ab}	6,8 \pm 1,3 ^a	6,8 \pm 1,2 ^a

U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

ns = não significativo.

Escala hedônica: 1=desgostei extremamente; 2=desgostei muitíssimo; 3=desgostei moderadamente; 4=desgostei levemente; 5=nem gostei nem desgostei; 6=gostei levemente; 7=gostei moderadamente; 8=gostei muitíssimo; 9=gostei extremamente.

Dos 5 consumidores que participaram do grupo de foco para levantamento dos atributos, 80% eram do sexo feminino e 20%, do masculino; 80% tinham até 25 anos ou de 31 a 40 anos; 80% consumiam alimentos à base de soja pelo menos duas vezes por semana ou uma vez a cada quinze dias; 100% disseram gostar pouco ou muito de alimentos à base de soja. Os consumidores disseram consumir alimentos à base de soja, como soja cozida, hambúrguer, proteína texturizada de soja, quibe e farelo de soja.

Dentre os 17 atributos avaliados por meio do RATA, cinco discriminaram os hambúrgueres de soja: cor caramelo, odor de carne, odor de frango, odor de soja/vegetal e cheiroso (Tabela 10). Os atributos odor de frango e cheiroso foram mais intensos para as amostras com tiamina (28,4% U/com tiamina e 34,0% U/com tiamina). O odor de carne foi mais intenso para a amostra 28,4% U/com tiamina se compara à amostra sem tiamina, ou seja, a presença da tiamina contribuiu para a maior intensidade de odor de carne.

O odor de soja/vegetal foi mais intenso para a amostra sem tiamina (34,0% U/sem tiamina), que também apresentou uma maior intensidade da cor caramelo se comparada à amostra 34,0%/com tiamina. Não há relatos de que a tiamina tenha alguma relação com a cor de um produto.

Tabela 10: Média \pm desvio padrão para os atributos dos hambúrgueres de soja (n = 70).

Hambúrguer de soja		34,0% U Sem Tiamina	28,4 % U Com Tiamina	34,0% U Com Tiamina
<i>Aparência</i>				
1	Cor branca	0,49 \pm 0,65 ^{ns}	0,60 \pm 0,77 ^{ns}	0,64 \pm 0,74 ^{ns}
2	Cor caramelo	2,23 \pm 0,75 ^a	2,10 \pm 0,76 ^{ab}	1,96 \pm 0,71 ^b
<i>Odor</i>				
3	Odor de carne	0,84 \pm 0,83 ^b	1,20 \pm 0,93 ^a	1,06 \pm 0,90 ^{ab}
4	Odor de frango	0,76 \pm 0,79 ^b	1,19 \pm 1,00 ^a	1,04 \pm 0,91 ^a
5	Odor de soja/vegetal	1,23 \pm 0,90 ^a	0,99 \pm 0,89 ^b	1,00 \pm 0,85 ^b
6	Odor de toucinho	0,49 \pm 0,76 ^{ns}	0,47 \pm 0,72 ^{ns}	0,40 \pm 0,69 ^{ns}
<i>Textura</i>				
7	Quebradiço	1,09 \pm 0,86 ^{ns}	1,01 \pm 0,86 ^{ns}	0,94 \pm 0,88 ^{ns}
8	Sensação de grudar na boca e na língua	1,49 \pm 1,02 ^{ns}	1,27 \pm 0,99 ^{ns}	1,33 \pm 0,97 ^{ns}
9	Textura fibrosa/Difícil de mastigar	0,74 \pm 0,77 ^{ns}	0,76 \pm 0,75 ^{ns}	0,73 \pm 0,82 ^{ns}
10	Textura macia	2,11 \pm 0,73 ^{ns}	2,16 \pm 0,71 ^{ns}	2,26 \pm 0,70 ^{ns}
11	Textura úmida	2,00 \pm 0,87 ^{ns}	1,90 \pm 0,76 ^{ns}	1,97 \pm 0,76 ^{ns}
<i>Sabor</i>				
12	Sabor de frango	0,97 \pm 0,85 ^{ns}	1,04 \pm 0,79 ^{ns}	1,06 \pm 0,96 ^{ns}
13	Sabor de miojo	0,74 \pm 0,93 ^{ns}	0,60 \pm 0,87 ^{ns}	0,67 \pm 0,85 ^{ns}
14	Sabor de soja	1,31 \pm 0,86 ^{ns}	1,10 \pm 0,95 ^{ns}	1,11 \pm 0,81 ^{ns}
15	Sabor de tempero	1,37 \pm 0,80 ^{ns}	1,54 \pm 0,86 ^{ns}	1,37 \pm 0,78 ^{ns}
<i>Afetivo</i>				
16	Cheiroso	1,51 \pm 0,81 ^b	2,10 \pm 0,84 ^a	1,93 \pm 0,87 ^a
17	Gostoso	1,93 \pm 0,79 ^{ns}	2,16 \pm 0,73 ^{ns}	2,03 \pm 0,80 ^{ns}

U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Letras diferentes na mesma linha indicam que há diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

ns = não significativo.

Escala de intensidade dos atributos: 0=não aplicável; 1=intensidade baixa; 2=intensidade média; 3=intensidade alta.

Foi feita uma análise de componentes principais (ACP) entre os atributos do RATA e a aceitação sensorial. Para isso, consideraram-se todos os atributos do RATA, visto que houve

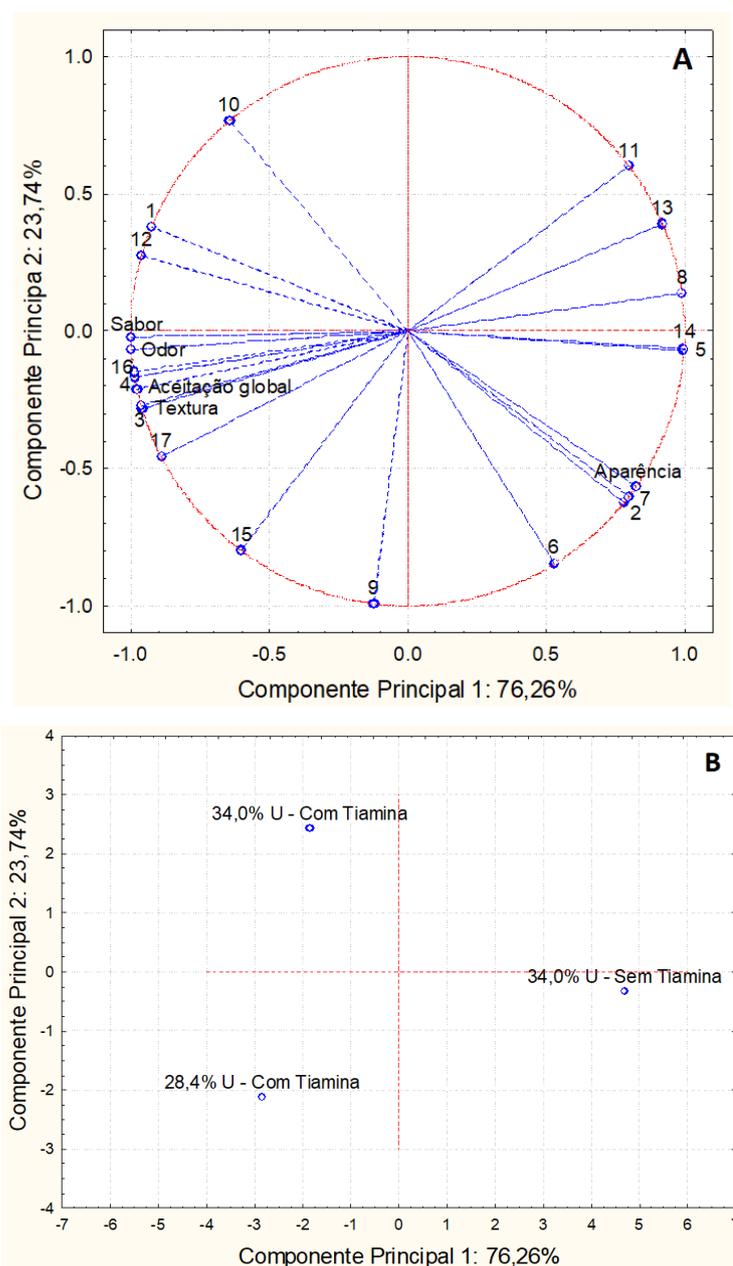
uma frequência mínima de 5% de aplicação de todos os atributos sensoriais para todas as amostras avaliadas (Apêndice 6.2).

A ACP mostrou que o primeiro componente principal explicou 76,26% da variação dos dados e o segundo componente principal explicou 23,74%, totalizando 100% da variação total dos dados (Figura 7).

O primeiro componente principal foi explicado por dois grupos de variáveis. O primeiro grupo foi composto pelos atributos cor caramelo, odor de soja/vegetal, quebradiço, sensação de grudar na boca e na língua, textura úmida, sabor de miojo e sabor de soja, e pela aceitação da aparência (cargas fatoriais $\geq 0,70$ no componente principal 1 da Figura 7A). O segundo grupo foi formado pelos atributos cor branca, odor de carne, odor de frango, sabor de frango, cheiroso e gostoso, e pela aceitação do odor, textura, sabor e aceitação global (cargas fatoriais $\leq -0,70$ no componente principal 1 da Figura 7A). Por isso, quanto maior foi a intensidade da cor caramelo e menor a intensidade da cor branca, maior a aceitação da aparência; quanto maiores as intensidades de odor de carne, odor de frango e sabor de frango, assim como menores intensidades de odor de soja/vegetal, sabor de miojo e sabor de soja, maior a aceitação do odor e sabor e aceitação global, além dos produtos terem sido mais cheirosos e mais gostosos; e quanto menor a intensidade dos atributos quebradiço, sensação de grudar na boca e na língua e textura úmida, maior a aceitação da textura (Figura 7A).

O segundo componente principal foi explicado pelos atributos odor de toucinho, textura fibrosa/difícil de mastigar, textura macia e sabor de tempero, sendo que a textura macia se correlacionou negativamente com as demais características (Figura 7A).

Figura 7: Análise de componentes principais entre os atributos da análise descritiva e a aceitação sensorial das amostras de hambúrguer de soja.



U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Atributos: (1) cor branca; (2) cor caramelo; (3) odor de carne; (4) odor de frango; (5) odor de soja/vegetal; (6) odor de toucinho; (7) quebradiço; (8) sensação de grudar na boca e na língua; (9) textura fibrosa/difícil de mastigar; (10) textura macia; (11) textura úmida; (12) sabor de frango; (13) sabor de miojo; (14) sabor de soja; (15) sabor de tempero; (16) cheiroso; (17) gostoso.

O hambúrguer de soja 34,0% U/sem tiamina destacou-se pela aceitação da aparência, devido à intensidade da cor caramelo e baixa intensidade da cor branca (Figura 7B). O hambúrguer de soja 34,0% U/com tiamina foi descrito pelas intensidades de cor branca, textura macia e sabor de frango (embora sem correlação entre a textura macia e as outras

características), e baixa intensidade do odor de toucinho, textura fibrosa/dura de mastigar e sabor de tempero, porém não foi caracterizada por nenhum atributo de aceitação sensorial (Figura 7B). Já o hambúrguer de soja 28,4% U/com tiamina foi caracterizado pela aceitação do odor e sabor, devido às altas intensidades do odor de carne e de frango, e às baixas intensidades do odor de soja/vegetal, sabor de miojo e sabor de soja, além dos atributos cheiroso e gostoso. Essa amostra também se caracterizou pela aceitação da textura, devido às baixas intensidades de sensação de grudar na boca e na língua e textura úmida, além da textura fibrosa/difícil de mastigar e sabor de tempero, mas sem correlação com a aceitação sensorial. Por fim, toda essa descrição do hambúrguer de soja 28,4% U/com tiamina também a destacou para a aceitação global (Figura 7B).

Observa-se para os hambúrgueres com tiamina, que houve caracterização dos mesmos em relação ao odor e sabor de carne, diferentemente dos análogos de carne. Provavelmente pelo fato de nas formulações dos hambúrgueres (Tabela 4) ter sido adicionada maior quantidade de óleo de soja do que para os análogos de carne (Tabela 3), além de o hambúrguer ter sido grelhado também com óleo de soja (item 2.8), tenha favorecido a percepção dos compostos voláteis responsáveis pelo odor e sabor de carne nos hambúrgueres com tiamina.

4. CONCLUSÕES

A capacidade de absorção de água foi menor e a força de compressão foi maior para o análogo de carne 28,4% U/com tiamina se comparada a com 34,0% U/sem tiamina, enquanto que maior aceitação do odor foi para o análogo de carne com tiamina, independente do teor de umidade da PCS. No análogo de carne, as duas amostras adicionadas de tiamina apresentaram maiores intensidades para os atributos odor de carne, sabor residual de queimado e cheiroso em relação à amostra sem tiamina, além de menores intensidades de odor de soja. Pela ACP, os análogos de carne com tiamina destacaram-se pela aceitação do odor devido ao odor de carne, sendo que o análogo de carne 34% U/com tiamina destacou-se pela aceitação global devido ao atributo sabor de carne, enquanto que a amostra 28,4% U/com umidade destacou-se pela aceitação da textura devido à baixa intensidade dos atributos relacionados à textura. O hambúrguer de soja 28,4% U/com tiamina apresentou o menor encolhimento, e a aceitação do odor e sabor e também a aceitação global foram maiores para os hambúrgueres de soja com tiamina. No hambúrguer, as amostras com tiamina tiveram maiores intensidades de odor de carne e odor de frango e foram consideradas mais cheirosas do que o hambúrguer sem

tiamina, porém tinham menores intensidades de cor caramelo e odor de soja. Por meio da ACP, os hambúrgueres com tiamina destacaram-se pela aceitação do odor, textura, sabor e aceitação global, devido às altas intensidades de odor de carne e odor de frango (28,4% U/com tiamina) ou altas intensidades do sabor de frango e textura macia (34,0% U/com tiamina). Desta forma, a utilização de proteína texturizada de soja adicionada de tiamina demonstrou ser uma alternativa interessante na obtenção de produtos à base de soja com odor e sabor de carne.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO-FANI, A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Nanostructured emulsions and nanolaminates for delivery of active ingredients: Improving food safety and functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 60, p. 12-22, 2017.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International: método oficial 925.10**. 16. ed., v. 2. Gaithersburg: 1997.

ARES, G. et al. Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 87–95, 2014.

ASGAR, M. A. et al. Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 5, p. 513–529, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 20 de 31 de julho de 2000, Anexo IV. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de hambúrguer**. Brasília, 2000.

BRASIL. Secretaria de Estado de Saúde. Centro de Vigilância Sanitária. Portaria CVS 5, de 9 de abril de 2013, Capítulo III, Seção IV. **Regulamento técnico de boas práticas para estabelecimentos comerciais de alimentos e para serviços de alimentação**. Preparo dos alimentos. São Paulo, 2013.

CARVALHO, G. R. DE et al. Textured soy protein, collagen and maltodextrin as extenders to improve the physicochemical and sensory properties of beef burger. **Food Science and Technology**, v. 37, n. suppl 1, p. 10–16, 2017.

ELZERMAN, J. E.; BOEKEL, M. A. J. S. VAN; LUNING, P. A. Exploring meat substitutes: consumer experiences and contextual factors. **British Food Journal**, v. 115, n. 5, p. 700–710, 2013.

KATAYAMA, M.; WILSON, L. A. Utilization of soybeans and their components through the development of textured soy protein foods. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 3, p. 158–164, 2008.

LAI, W. T. et al. A review: Modified agricultural by-products for the development and fortification of food products and nutraceuticals. **Trends in Food Science and Technology**, v. 59, p. 148–160, 2017.

LEONEL, M.; MARTINS, J. C.; MISCHAN, M. M. Produção de snacks funcionais à base de farinha de soja e polvilho azedo. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1418-1423, 2010.

LIN, S.; HUFF, H. E.; HSIEH, F. Extrusion Process Parameters, Sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analog. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1066–1072, 2002.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3. ed. ed. Boca Raton: CRC Press, 1999.

MEYNEERS, M.; JAEGER, S. R.; ARES, G. On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data. **Food Quality and Preference**, v. 49, n. November, p. 1–10, 2016.

MILANI, T. M. G. et al. Pre-extrusion aromatization of a soy protein isolate using volatile compounds and flavor enhancers: Effects on physical characteristics, volatile retention and sensory characteristics of extrudates. **Food Research International**, v. 62, p. 375–381, 2014.

NIELSEN, L. V. et al. Protein from meat or vegetable sources in meals matched for fiber content has similar effects on subjective sensations and energy intake – a randomized acute cross-over meal test study. **Nutrients**, v. 10, n. 1, p. 96-106, 2018.

OMONI, A. O.; ALUKO, R. E. Soybean foods and their benefits: Potential mechanisms of action. **Nutrition Reviews**, v. 63, n. 8, p. 272–283, 2005.

PAN, Z.; PAUL SINGH, R. Physical and Thermal Properties of Ground Beef During Cooking. **LWT - Food Science and Technology**, v. 34, n. 7, p. 437–444, 2001.

PINERO, M. P. et al. Effect of oat's soluble fiber (b-glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. **Meat Science**, v. 80, n. 3, p. 675–680, 2008.

ROOS, K. B. How Lipids Influence Food Flavor. In: **Overview Outstanding Symposia in Food Science & Technology**. Chicago, v. 51, p. 60-61, 1997.

SILVA, R. C. S. N.; MINIM, V. P. R. Métodos descritivos com consumidores. In: MINIM, V. P. R.; SILVA, R. C. S. N. (Eds.). **Análise sensorial descritiva**. Viçosa: UFV, 2016. p. 280.

SINGH, P. et al. Functional and edible uses of soy protein products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 7, n. 1, p. 14–28, 2008.

TAYLOR, A. J.; LINFORTH, R. S. T. **Food Flavor Technology** (2 ed.). Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2010. 360p.

THE GOOD CENTS COMPANY. Disponível em:

<<http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1023221.html#toorgano>>. Acesso em: 07 abr. 2018a.

THE GOOD CENTS COMPANY. Disponível em:

<<http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1035411.html>>. Acesso em: 07 abr. 2018b.

VERBEEK, C. J. R.; BERG, L. E. VAN DEN. Extrusion Processing and Properties of Protein-Based Thermoplastics. **Macromolecular Material and Engineering**, n. 295, p. 10–21, 2010.

VIDAL, L. et al. Comparison of rate-all-that-apply (RATA) and check-all-that-apply (CATA) questions across seven consumer studies. *Food Quality and Preference* (2017), <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.013>.

VOILLEY, A.; ETIÉVANT, P. **Flavour in food**. Boca Raton: CRC Press LLC, 2006. 451p.

YANG, A. et al. Sensory quality of soymilk and tofu from soybeans lacking lipoxygenases. **Food Science and Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 207–215, 2016.

YU, L.; RAMASWAMY, H. S.; BOYE, J. Twin-screw Extrusion of Corn Flour and Soy Protein Isolate (SPI) Blends: A Response Surface Analysis. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 2, p. 485–497, 2012.

CONCLUSÃO GERAL

A umidade da proteína concentrada de soja e a velocidade de rotação da rosca tiveram efeito sobre a maioria das propriedades físicas avaliadas, sobre a solubilidade da proteína e a estabilidade da emulsão, sobre a aceitação do odor de carne e a intensidade do odor de carne dos extrusados, e sobre o teor de compostos voláteis nos extrusados. A grande parte das variáveis sofreu efeito exclusivamente da umidade da PCS.

Algumas propriedades físicas foram diferentes entre os extrusados com e sem tiamina, mas sem prejuízo da qualidade dos mesmos. A presença de tiamina não alterou o resultado das propriedades funcionais, mas promoveu uma maior aceitação do odor de carne e também maior intensidade do odor de carne nos extrusados.

Compostos voláteis sulfurados, com notas odoríferas relacionadas à carne e gordura, foram encontrados em todos os extrusados, inclusive naquele que não foi adicionado de tiamina. Entretanto, a intensidade e a aceitação do odor de carne foram correlacionadas com estes compostos voláteis para os extrusados adicionados de tiamina.

A utilização da proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne no preparo do análogo de carne não prejudicou a capacidade de absorção de água e a força de compressão da amostra, porém promoveu uma maior aceitação do odor se comparada à amostra sem tiamina, devido a maior intensidade do atributo odor de carne. Os análogos de carne adicionados de tiamina também foram caracterizados pela aceitação global, sendo que o atributo sabor de carne correlacionou-se com esta aceitação.

A aplicação da proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne na formulação de hambúrguer de soja não alterou as propriedades físicas das amostras, porém levou a uma maior aceitação do odor, sabor e aceitação global, se comparada ao hambúrguer sem tiamina. Os hambúrgueres adicionados de tiamina apresentaram maior aceitação do odor, sabor e aceitação global, devido ao odor de carne, odor e sabor de frango, além da baixa intensidade do sabor de soja.

Quando a PTS com odor e sabor de carne for consumida como um análogo de carne, a melhor opção é ajustar a umidade da PCS em 34% (b.s), enquanto que quando ela for aplicada como ingrediente em formulações, a umidade da PCS deve ser de 28,4% (b.s).

Este trabalho mostra que a utilização de tiamina como precursor de aroma resulta em extrusados com odor e sabor de carne, sem fazer uso adicional de óleo para aromatização. Além disso, a utilização da proteína texturizada de soja com odor e sabor de carne para a

obtenção de produtos à base de soja pode trazer melhoras consideráveis na aceitação e caracterização sensorial dos produtos.

APÊNDICE 1: Estudo para definição da matéria-prima, parâmetros de extrusão e precursor de odor e sabor de carne para início do trabalho.

A1. INTRODUÇÃO

Antes de iniciar o trabalho proposto no projeto inicial, foram necessárias definições de alguns componentes para materiais e métodos: precursor (es) de odor e sabor de carne e parâmetros dos pontos centrais do delineamento experimental. Além disso, por se tratar de um equipamento recém-chegado ao departamento, eram necessários testes na extrusora para conhecer o seu comportamento e suas limitações para utilização da matéria-prima (farinha desengordurada de soja) proposta para o trabalho.

Inicialmente, foram feitos testes utilizando farinha desengordurada de soja como matéria-prima. Porém, após diversas tentativas, foi verificado que não era possível obter uma boa texturização do material no equipamento. Por outro lado, num único teste, aplicando os possíveis precursores de aroma de carne investigados na literatura, foi possível observar que a tiamina seria um bom precursor de odor e sabor de carne quando misturada, antes da extrusão, em material proteico.

Novos testes foram conduzidos utilizando a proteína concentrada de soja como matéria-prima e, desta vez, os extrusados obtidos apresentaram texturização e expansão adequados. E, utilizando como matéria-prima para o trabalho a proteína concentrada de soja, foram realizados testes para definir a quantidade de tiamina e os pontos centrais do delineamento (com três fatores) para que o objetivo deste trabalho fosse alcançado.

Desta maneira, em seguida, está apresentada uma descrição dos testes realizados e resultados obtidos até que se chegasse às definições necessárias.

A2. MATERIAL E MÉTODOS

A2.1. Material

A farinha desengordurada de soja foi fornecida pela Marsul Proteínas Ltda. (Montenegro/RS, Brasil) com as seguintes especificações: mínimo de 45% de proteína (base seca), máximo de 2% de lipídeos (desengordurada), máximo de 4% e 6,5% de fibras e cinzas, respectivamente; índice de proteína dispersável (IPD) de, no mínimo, 80%; e formação de

emulsão com uma parte de farinha para três partes de água e três partes de óleo. Sua granulometria era de no máximo de 60% dos grânulos retidos em peneira com abertura de 0,149 mm.

A proteína concentrada de soja (PCS) foi fornecida pela ADM Foods & Wellness (Decatur/IL, Estados Unidos) com as seguintes especificações: mínimo de 70% de proteína (base seca), máximo de 3% de lipídeos, máximo de 20% e 5% de fibras e cinzas, respectivamente; índice de proteína dispersável (IPD) de, no mínimo, 60%; e formação de emulsão com uma parte de proteína para cinco partes de água e cinco partes de óleo. Sua granulometria era de no máximo de 10% dos grânulos retidos em peneira com abertura de 0,149 mm.

Para investigação dos precursores de odor e sabor de carne foram utilizados, primeiramente, aminoácidos (L-cisteína, L-cistina, metionina e tiamina) adquiridos na Farmácia Grindélia (São José do Rio Preto/SP, Brasil). Definida a tiamina, como sendo o precursor de aroma, ela foi obtida na forma de hidrocloreto de tiamina (pureza $\geq 99\%$), da Sigma-Aldrich Ltda. (Milwaukee, USA).

A2.2. Ajuste de umidade das matérias-primas

A umidade inicial da farinha desengordurada de soja e da proteína concentrada de soja foi determinada pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997). Posteriormente, as umidades foram ajustadas de acordo com os valores necessários para a extrusão. A quantidade necessária de água adicionada à matéria-prima para obter materiais com diferentes umidades finais foi calculada utilizando a equação:

$$A = \left[\frac{(100 - U_i) \times U_f}{100} \right] - U_i, \text{ sendo que:}$$

A = água a ser adicionada em 100 g da matéria-prima (g)

U_i = umidade inicial da amostra (b.s.) (%)

U_f = umidade final da amostra (b.s.) (%).

Foi utilizada uma batedeira de bancada, modelo Gastromaq BP 5, GPaniz Ind. de Equip. p/ Alim. Ltda. (Caxias do Sul/RS, Brasil), de batedor aramado que, contendo a matéria-prima,

permaneceu ligada na velocidade mínima. Com o auxílio de um borrifador, a água foi continuamente aspergida até que toda ela fosse acrescentada ao material. Ao final, a amostra foi acondicionada em saco de polietileno (com 0,2 mm de espessura) e estocada em geladeira (aproximadamente 5 °C) por 2 dias para o equilíbrio da umidade. As umidades dos materiais foram novamente analisadas pelo método de secagem em estufa a 105 °C (AOAC, 1997).

As amostras do material com as umidades ajustadas foram retornadas à temperatura ambiente antes da extrusão.

A2.3. Adição do(s) precursor (es) de odor e sabor de carne à matéria-prima

Os precursores de odor e sabor de carne foram adicionados diretamente à matéria-prima duas horas antes da extrusão e misturados manualmente, e as amostras foram mantidas à temperatura ambiente até o momento da extrusão.

A2.4. Determinação da condição de extrusão da farinha desengordurada de soja e definição do precursor de odor e sabor de carne

Foi utilizada uma extrusora com capacidade de produção semi-industrial (modelo RXPQ Labor 24) da INBRAMAQ – Indústria de Máquinas Ltda. (Ribeirão Preto/SP, Brasil). O equipamento foi previamente preparado utilizando 5 zonas de aquecimento, 3 camisas helicoidais, rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1, trafilada de um orifício de 3,2 mm de diâmetro.

Diversos trabalhos foram consultados para condução dos testes preliminares com o objetivo de determinar as condições de extrusão para obtenção de extrusados proteicos com características adequadas (CHEN; WEI; ZHANG, 2011; CONTI-SILVA et al., 2010; CONTI-SILVA; SILVA; ARÊAS, 2011; FANG; ZHANG; WEI, 2014; FRAZIER et al., 1984; LIN; HUFF; HSIEH, 2000, 2002; MILANI et al., 2014; REGITANO-D'ARCE, 2006; YU; RAMASWAMY; BOYE, 2013; ZHU et al., 2010) e investigação do precursor de odor e sabor de carne (BAEK et al., 2001; MAJCHER; JELENÍ, 2007). Para isso, foram realizados três grupos de testes:

Primeiro grupo de testes

Foram utilizadas as seguintes condições de extrusão:

- velocidade de rotação da rosca: 210 rpm (80% da velocidade de rotação máxima atingida pela rosca, que é de 263 rpm);
- umidade do material: 30, 35 e 40% (base seca);
- temperatura na zona 5: 150 °C;
- temperatura nas demais zonas: zona 1 = desligada, zona 2 = 80 °C, zona 3 = 100 °C e zona 4 = zona 5;
- velocidade de alimentação: 143 g/min;
- sub-trafila: orifícios de 3,0 mm de diâmetro;
- bomba d'água ligada na zona 1 de aquecimento, para melhor controle da temperatura, evitando aglomeração de produto na entrada da extrusora.

Além disso, quatro diferentes compostos foram testados, isoladamente, como possíveis precursores de odor e sabor de carne: L-cisteína, L-cistina, metionina e tiamina.

No total foram realizados quinze testes, onde foram testadas as combinações de três diferentes umidades da farinha desengordurada de soja (30, 35 e 40%) e cinco diferentes situações de adição de compostos, como possíveis precursores (sem adição de precursor, adição de 0,25% de L-cisteína, de 0,25% de L-cistina, de 0,25% metionina e de 0,25% de tiamina).

Segundo grupo de testes

Para o segundo grupo de testes, a condição de extrusão foi a mesma do primeiro grupo de testes, exceto para a velocidade de alimentação que foi aumentada para 170 g/min, para garantir maior ocupação da matéria-prima ao longo do canhão da extrusora, melhorando assim o fluxo de saída do extrusado.

Foram testadas três quantidades diferentes de tiamina (0,25, 0,50 e 1,00%) em cada uma das três diferentes umidades de farinha desengordurada de soja (30, 35 e 40%). Além disso, uma amostra com 35% de umidade e 0,50% de tiamina foi extrusada com menor velocidade de rotação da rosca (184 rpm ou 70% da velocidade de rotação máxima), com o objetivo de verificar o resultado de um maior tempo de retenção do material dentro da extrusora. No total foram realizados dez testes.

Terceiro grupo de testes

Foram utilizadas as seguintes condições de extrusão:

- velocidade de rotação da rosca: 210, 237 e 263 rpm (80, 90 e 100%, respectivamente);
- umidade do material: 25 e 30% (base seca);
- temperatura na zona 5: 170 °C;
- temperatura nas demais zonas: zona 1 = desligada, zona 2 = 90 °C, zona 3 = 110 °C e zona 4 = zona 5;
- velocidade de alimentação: 170 g/min
- subtrafila: orifícios com 5,5 mm de diâmetro.

Em todas as amostras testadas foram adicionados 1,5% de tiamina (Farmácia Grindélia). Além disso, duas amostras de farinha desengordurada de soja, com umidades 25 e 30%, foram adicionadas de 1,5% de tiamina obtida da Sigma-Aldrich Ltda., a fim de utilizar um produto com garantia de padrão de pureza. No total foram realizados oito testes.

A2.5. Determinação da condição de extrusão da proteína concentrada de soja e definição da quantidade do precursor de odor e sabor de carne

Com o objetivo de obter extrusados com adequada expansão e texturização, visto os resultados dos testes com a farinha desengordurada de soja (item A3.1), decidiu-se mudar a matéria-prima para proteína concentrada de soja, cuja justificativa é apresentada também no item A3.1. Assim, foram conduzidos testes para determinar as condições de extrusão da proteína concentrada de soja.

Os testes com a proteína concentrada de soja foram realizados utilizando a mesma extrusora dos testes anteriores, com 3 camisas helicoidais, rosca única de passo largo com taxa de compressão de 2,3:1 e relação comprimento/diâmetro (L/D) de 15,5:1, sub-trafila de orifícios de 5,5 mm e trafilado de um orifício de 3,2 mm de diâmetro.

Foram realizados quatro grupos de testes:

Primeiro grupo de testes

Foram utilizadas as seguintes condições de extrusão:

- velocidade de rotação da rosca: 237 rpm (90%);

- umidade do material: 25, 30 e 35% (base seca);
- temperatura na zona 5: 160 °C;
- temperatura nas demais zonas: zona 1 = desligada, zona 2 = 90 °C, zona 3 = 110 °C e zona 4 = zona 5;
- velocidade de alimentação: 170 g/min.

Em todas as amostras testadas foram adicionados 1,5% de tiamina. No total foram realizados três testes.

Segundo grupo de testes

Foram utilizadas as seguintes condições de extrusão, baseadas no trabalho realizado anteriormente por Conti-Silva, Silva e Arêas (2011):

- velocidade de rotação da rosca: 237 rpm (90%);
- umidade do material: 30, 35 e 40% (base seca);
- temperaturas na zona 5: 110, 130 e 150 °C;
- temperatura nas demais zonas: zona 1 = desligada, zona 2 = 60 °C, zona 3 = 80 °C e zona 4 = 15 °C abaixo da temperatura da zona 5;
- velocidade de alimentação: 170 g/min.

Para todas as temperaturas na zona 5 também foram testadas amostras de proteína concentrada de soja com 35% de umidade, na velocidade de rotação da rosca de 184 rpm, a fim de verificar os resultados num possível ponto (-1) do delineamento estatístico do trabalho. Em todas as amostras testadas foram adicionados 1,5% de tiamina. No total foram realizados doze testes.

Terceiro grupo de testes

Com o objetivo de definir o ponto central para a velocidade da rosca e temperatura na zona 5 da extrusora e investigar diferentes quantidades de tiamina, foram utilizadas as seguintes condições de extrusão:

- velocidade de rotação da rosca: 184 e 237 rpm (70 e 90%, respectivamente);
- umidade do material: 35% (base seca);
- temperatura na zona 5: 130, 150 e 170 °C;

- temperatura nas demais zonas: zona 1 = 30 °C, zona 2 = 60 °C, zona 3 = 80 °C e zona 4 = 15 °C abaixo da temperatura da zona 5;
- velocidade de alimentação: 170 g/min.

A tiamina foi adicionada nas quantidades de 1,0, 3,0 e 5,0% em todas as condições de extrusão. No total foram realizados dezoito testes.

Quarto grupo de testes

Para, finalmente, definir a quantidade de tiamina a ser utilizado no trabalho, foram utilizadas as seguintes condições de extrusão:

- velocidade de rotação da rosca: 210 rpm (80%);
- umidade do material: 35% (base seca);
- temperatura na zona 5: 150 °C;
- temperatura nas demais zonas: zona 1 = 30 °C, zona 2 = 60 °C, zona 3 = 80 °C e zona 4 = 15 °C abaixo da temperatura da zona 5;
- velocidade de alimentação: 170 g/min.

As amostras foram preparadas com diferentes quantidades de tiamina: 1,5, 2,0 e 2,5%. No total foram realizados três testes.

A2.6. Avaliação das características dos extrusados

Razão de expansão: Cinco extrusados, com aproximadamente 50 mm de comprimento cada, tiveram seus diâmetros medidos com o auxílio de um paquímetro digital (Digimess IP54), e a razão de expansão calculada de acordo com a fórmula (PARADA; AGUILERA; BRENNAN, 2011):

$$RE = \frac{\text{diâmetro do extrusado}}{\text{diâmetro do orifício de saída da trafiladora}}$$

onde o diâmetro do orifício de saída da trafiladora era de 3,2 mm.

Teste de reidratação: Extrusados proteicos, após reidratação em água quente, apresentam textura resistente e esponjosa, devido à capacidade de reterem água sem se desmancharem. Por isso, foi realizado um teste de reidratação dos extrusados para verificar a adequada

texturização dos produtos. Aqueceu-se a água a 100 °C e os extrusados foram colocados e mantidos imersos nela durante 5 minutos, sem aquecimento. Após este tempo, retiraram-se os extrusados e, visualmente e por teste tátil, foi verificado se houve reidratação adequada dos mesmos, classificando-os, subjetivamente, como: extrusados duros (não se desfaz, mas o centro é duro), extrusados resistentes (não se desfaz e se parece com uma esponja) ou extrusados moles (desfaz-se). Para cada teste, foram feitas observações de três extrusados aleatórios cortados em comprimentos aproximadamente iguais (30 mm).

A2.7. Análise estatística dos dados

A comparação das médias de razão de expansão foi feita utilizando Kruskal-Wallis e teste de Dunn ou Mann-Whitney (análise estatística não paramétrica), e as diferenças consideradas significativas quando $p \leq 0,05$. Para isso, utilizou-se o programa GraphPad Instat, versão 3.05 (GraphPad Software Inc., La Jolla, EUA).

A3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A3.1. Determinação da condição de extrusão da farinha desengordurada de soja e definição do precursor de odor e sabor de carne

No primeiro grupo de testes (Tabela A1), apesar dos extrusados com menor umidade apresentarem maior razão de expansão, nenhuma amostra obteve razão de expansão acima de 2,00, o que é indesejável em extrusados proteicos. Além disso, os extrusados não mostraram texturização adequada, desfazendo-se ou ficando muito duros após o teste de reidratação.

Com relação à aplicação dos diferentes precursores, apenas o extrusado adicionado de tiamina apresentou odor intenso, característico de carne após a saída do produto da extrusora. Tal fato pode ser atribuído ao processo de degradação térmica da tiamina, que produz diversos compostos (sulfurados, furanos, pirazinas, entre outros) que possuem odor característico de carne (GÜNTERT et al., 1992). Por isso, a tiamina foi escolhida como o precursor de aroma e sabor de carne para a continuidade dos testes.

Tabela A1: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de farinha desengordurada de soja, obtidos no primeiro grupo de testes.

Precursor	Análise	30%*	35%	40%
Sem precursor	RE	1,20 \pm 0,29 ^{ab}	1,34 \pm 0,18 ^a	0,96 \pm 0,10 ^b
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Mole
L-cisteína	RE	1,39 \pm 0,31 ^a	1,62 \pm 0,26 ^a	1,35 \pm 0,23 ^a
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Duro
L-cistina	RE	1,49 \pm 0,32 ^a	1,08 \pm 0,17 ^b	1,09 \pm 0,19 ^b
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Duro
Metionina	RE	1,47 \pm 0,21 ^a	1,13 \pm 0,10 ^b	1,32 \pm 0,24 ^{ab}
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Mole
Tiamina	RE	1,31 \pm 0,17 ^a	1,07 \pm 0,11 ^b	1,16 \pm 0,13 ^{ab}
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Mole

Letras diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$). Algumas condições de extrusão: Temperatura na zona 5 = 150 °C; Velocidade de rotação da rosca = 210 rpm (80%); Taxa de alimentação = 143 g/min.

*Umidade da farinha desengordurada de soja (b.s.).

Com o objetivo de obter um extrusado mais expandido e com melhor texturização, no segundo grupo de testes (Tabela A2) foi aumentada a velocidade de alimentação (170 g/min), para melhorar o fluxo de extrusão, e uma das amostras foi extrusada numa velocidade de rosca menor (184 rpm), a fim de verificar o resultado de um maior tempo de retenção da matéria-prima dentro da extrusora, para promover maior alteração na estrutura proteica e melhorar a texturização. Além disso, três diferentes níveis de tiamina (0,25, 0,5 e 1,0%) foram testados.

Os extrusados do segundo grupo de testes não apresentaram melhoria nas características de expansão ou texturização, mesmo com a redução da velocidade de rotação da rosca para a matéria-prima extrusada com 35% de umidade. Por outro lado, de um modo geral, observou-se uma tendência de aumento na razão da expansão do extrusados do segundo teste, se comparado aos extrusados obtidos no primeiro teste. Esse aumento pode ser atribuído ao aumento da velocidade de alimentação material na entrada da extrusora. Por isso, a velocidade de alimentação de 170 g/min foi mantida nos testes seguintes. Além disso, as amostras adicionadas de 1,0% de tiamina, independente do teor de umidade, apresentaram odores mais intensos de carne se comparadas aos demais níveis de tiamina.

Tabela A2: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de farinha desengordurada de soja, obtidos no segundo grupo de testes.

% Tiamina	Análise	30%*	35%	40%
0,25	RE	1,77 \pm 0,17 ^a	1,47 \pm 0,13 ^{aA}	1,56 \pm 0,17 ^a
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Mole
0,50	RE	1,57 \pm 0,06 ^a	1,48 \pm 0,11 ^{aA}	1,50 \pm 0,15 ^a
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Duro
0,50**	RE	-	1,53 \pm 0,09 ^{aA}	-
	Teste de reidratação	-	Duro	-
1,00	RE	1,50 \pm 0,11 ^a	1,41 \pm 0,12 ^{aA}	1,15 \pm 0,08 ^b
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Duro

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna (umidade = 35%) indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

Algumas condições de extrusão: Temperatura na zona 5 = 150 °C; Velocidade de rotação da rosca = 210 rpm (80%); Taxa de alimentação = 170 g/min.

*Umidade da farinha desengordurada de soja (b.s.).

**Teste realizado com velocidade de rotação da rosca a 184 rpm (70%).

No terceiro grupo de testes (Tabela A3), aumentou-se a temperatura na zona 5 (170 °C), além de serem realizados testes com menores teores de umidade e maiores velocidades de rotação da rosca, na tentativa de estabelecer parâmetros de extrusão que resultassem em extrusados com melhores características de expansão e texturização. Além disso, uma quantidade maior de tiamina foi adicionada às amostras (1,5%), sendo que dois testes foram realizados com a tiamina adquirida da Sigma-Aldrich Ltda. A tiamina adquirida da Farmácia Grindélia não estava sendo fornecida regularmente com laudo técnico e a última amostra adquirida não tinha o mesmo aspecto de odor das amostras adquiridas anteriormente. Por isso, optamos por obter o composto diretamente da Sigma-Aldrich Ltda., para termos a garantia de qualidade e pureza do produto.

Dois testes deste terceiro grupo apresentaram extrusados com estruturas muito frágeis e saíram da extrusora em jatos, impossibilitando a realização da análise do produto, pois quando recolhidos estavam em farelos. Apesar de não apresentarem características adequadas de expansão e texturização (Tabela A3), o odor de carne dos produtos extrusados a 30% de umidade apresentaram-se mais intensos independente da origem da tiamina. Junto ao odor de carne, também foi possível sentir um odor de soja queimada. A alta temperatura e a baixa umidade do material levaram a formação das estruturas frágeis e do odor de queimado.

Tabela A3: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de farinha desengordurada de soja, obtidos no terceiro grupo de testes.

Velocidade de rotação da rosca em rpm (em %)	Análise	25%*	30%
210 (80)	RE	***	1,92 \pm 0,12
	Teste de reidratação	***	Mole
237 (90)	RE	1,92 \pm 0,12	***
	Teste de reidratação	Mole	***
237 (90)**	RE	1,67 \pm 0,14	1,84 \pm 0,18
	Teste de reidratação	Mole	Duro
263 (100)	RE	1,80 \pm 0,19	1,52 \pm 0,08
	Teste de reidratação	Mole	Mole

Algumas condições de extrusão: Temperatura na zona 5 = 170 °C; Taxa de alimentação = 170 g/min; 1,5% de tiamina.

*Umidade da farinha desengordurada de soja (b.s.).

**Teste realizado com tiamina obtida da Sigma-Aldrich Ltda.

***Não foi possível avaliar.

Diante dos resultados apresentados, observou-se que a tiamina num nível maior de aplicação (1,5%), independente do fornecedor, apresentou um odor de carne mais intenso. Assim, a tiamina foi definida como o precursor de aroma a ser utilizado neste trabalho.

Com relação às características de expansão e texturização dos extrusados, mesmo em condições de umidades e temperaturas normalmente utilizadas na literatura, nenhum resultado foi satisfatório e, levando em consideração os resultados obtidos com a farinha desengordurada de soja, decidiu-se buscar outra matéria-prima.

A literatura mostra diversos trabalhos para obtenção de proteína texturizada de soja, utilizando concentrados (CONTI-SILVA; SILVA; ARÊAS, 2011; CONTI-SILVA et al., 2010; ZHU et al., 2010) ou isolados (FANG; ZHANG; WEI, 2014; MILANI et al., 2014; YU; RAMASWAMY; BOYE, 2013; CHEN; WEI; ZHANG, 2011; LIN; HUFF; HSIEH, 2000, 2002) proteicos como matéria-prima. Além disso, trabalhos anteriores já foram realizados utilizando a mesma extrusora que está sendo utilizada neste trabalho, porém utilizando concentrados proteicos como matéria-prima. Assim, amostra de proteína concentrada de soja foi solicitada e fornecida pela empresa ADM Food & Wellness para a realização de uma nova etapa de testes.

A3.2. Determinação da condição de proteína concentrada de soja e definição da quantidade de precursor de odor e sabor de carne

O primeiro grupo de testes utilizando a proteína concentrada de soja resultou em extrusados expandidos e com boa texturização quando as umidades do material foram de 30 e 35% (b.s.) (Tabela A4). Assim como na extrusão da farinha desengordurada de soja, a utilização de alta temperatura e baixa umidade do material (160 °C e 25% de umidade) levou a formação de uma estrutura frágil do extrusado, que após a reidratação resultou em um extrusado mole, com inadequada texturização. Quanto à adição de 1,5% de tiamina à matéria-prima, todos os extrusados apresentaram odor intenso de carne, que foi percebido logo na saída do produto da extrusora.

Tabela A4: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no primeiro grupo de testes.

Análise	25%*	30%	35%
RE	3,69 \pm 0,44 ^a	3,16 \pm 0,19 ^{ab}	2,99 \pm 0,10 ^b
Teste de reidratação	Mole	Resistente	Resistente

Letras diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$). Algumas condições de extrusão: Temperatura na zona 5 = 160 °C; Taxa de alimentação = 170 g/min, Velocidade de rotação da rosca = 237 rpm (90%); 1,5% de tiamina.

*Umidade da proteína concentrada de soja (b.s.).

Os resultados apresentados na Tabela A4 já mostraram a diferença nos extrusados obtidos pela extrusão da proteína concentrada de soja em relação à farinha desengordurada de soja, cujos resultados estão apresentados no item A3.1. A diferença nos extrusados foi visível, tanto por meio da expansão do extrusado, no qual é possível observar os vacúolos que são característicos de produtos extrusados expandidos, como também pela manutenção da estrutura quando do teste de reidratação. Essa diferença pode ter ocorrido em função das proteínas existentes na farinha desengordurada de soja, por meio das quais não foi possível favorecer ligações cruzadas durante a produção do extrusado, como interações eletrostáticas e hidrofóbicas, ligações de hidrogênio e ligações covalentes (pontes dissulfeto formadas a partir de resíduos sulfidrila e ligações peptídicas formadas a partir de grupamentos amínicos e carboxílicos livres) (MITCHELL; ARÊAS, 1992).

Além dessas observações, é sabido que a grande maioria das indústrias de alimentos utiliza a farinha desengordurada de soja para produção de proteína texturizada de soja, por ter um custo menor. Porém, Regitano-D'Arce (2006), aditivos como sal, álcalis, controladores de

pH e lecitina podem ser adicionados à matéria-prima antes da extrusão. A lecitina, por exemplo, é adicionada em níveis de até 0,4% para facilitar a operação de extrusão e a obtenção de um produto mais denso, resultante de um grau mais alto de ligações cruzadas. No nosso caso, optamos por não adicionar aditivos à matéria-prima, mas sim trabalhar com outra matéria-prima e, assim, deixamos de utilizar a farinha desengordurada de soja, já que a proteína concentrada de soja se mostrou mais adequada já no primeiro teste, resultando em extrusados com parâmetros de expansão e reidratação mais adequados.

No segundo grupo de testes com a proteína concentrada de soja, comparando os extrusados obtidos com diferentes umidades da matéria-prima e mesma temperatura, os extrusados do material com 35% de umidade apresentaram maior expansão a 130 °C (Tabela A5), sendo que nas demais temperaturas não houve diferença na razão de expansão. Também não houve influência da velocidade de rotação da rosca na expansão ou na texturização do produto. Por outro lado, comparando-se a razão de expansão dos extrusados dentro de uma mesma umidade e entre temperaturas, houve maior razão de expansão dos extrusados a 150 °C.

Texturização adequada e odor de carne mais intenso foram observados nos extrusados com proteína concentrada de soja a 30 e 35% de umidade e temperatura de 130 e 150 °C, sugerindo que uma maior retenção do odor formado no extrusado pode estar relacionada com boa estrutura da textura do produto.

Tabela A5: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) e teste de reidratação dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no segundo grupo de testes.

Temperatura zona 5 (°C)	Análise	30%*	35%	40%	35%**
110	RE	1,88 \pm 0,26 ^{aB}	2,00 \pm 0,26 ^{aB}	1,91 \pm 0,32 ^{aB}	2,10 \pm 0,28 ^{aB}
	Teste de reidratação	Mole	Mole	Mole	Mole
130	RE	2,28 \pm 0,15 ^{bAB}	2,68 \pm 0,20 ^{aAB}	2,28 \pm 0,07 ^{bAB}	2,62 \pm 0,17 ^{aAB}
	Teste de reidratação	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente
150	RE	2,71 \pm 0,28 ^{aA}	3,16 \pm 0,15 ^{aA}	2,73 \pm 0,32 ^{aA}	2,84 \pm 0,17 ^{aA}
	Teste de reidratação	Mole	Resistente	Resistente	Resistente

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

Algumas condições de extrusão: Taxa de alimentação = 170 g/min, Velocidade de rotação da rosca = 237 rpm (90%); 1,5% de tiamina.

*Umidade da proteína concentrada de soja (b.s.).

**Velocidade de rotação da rosca = 184 rpm (70%).

Buscando definir a quantidade de tiamina a ser adicionada na proteína concentrada de soja para extrusão e a definição dos pontos centrais para a velocidade da rosca e para a temperatura na zona 5 a serem utilizados no delineamento, os testes do terceiro grupo foram conduzidos. Observou-se maiores razões de expansão nos extrusados a temperaturas de 150 °C ou 170 °C (Tabela A6), porém com o odor de carne fraco (Tabela A7). Desta maneira, a temperatura de 150 °C foi definida como sendo o ponto central do delineamento experimental do trabalho.

De forma geral, o processo de extrusão a 130 e 170 °C e com velocidade de rotação da rosca de 184 rpm resultou em extrusados com maior razão de expansão em relação aos extrusados obtidos a 237 rpm (Tabela A6), além de melhor texturização (Tabela A7). A programação da velocidade de rotação da rosca para extrusão é feita em porcentagem, sendo que 100% representam 263 rpm. Assim, 70% da velocidade de rotação máxima para a rosca representam 184 rpm e 90% representam 237 rpm. Considerando uma variação conveniente a ser estudada por meio do delineamento experimental e as condições de operação limite da extrusora (por exemplo, a extrusão não é adequada a menos de 60% de velocidade de rotação

da rosca), definiu-se a velocidade da rosca em 80% no ponto central do delineamento, correspondendo a 210 rpm.

Tabela A6: Razão de expansão (RE) (média \pm desvio padrão, n = 5) dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no terceiro grupo de testes.

Tiamina (%)	Velocidade de rotação da rosca em rpm (em %)	130 °C*	150 °C	170 °C
1	184 (70)	2,35 \pm 0,34 ^{bA}	2,49 \pm 0,10 ^{abA}	2,93 \pm 0,30 ^{aA}
	237 (90)	1,79 \pm 0,28 ^{bA}	2,34 \pm 0,25 ^{aA}	2,28 \pm 0,21 ^{abB}
3	184 (70)	2,10 \pm 0,23 ^{bA}	2,61 \pm 0,41 ^{abA}	3,34 \pm 0,13 ^{aA}
	237 (90)	1,62 \pm 0,22 ^{bB}	3,12 \pm 0,16 ^{aA}	2,45 \pm 0,35 ^{abB}
5	184 (70)	2,15 \pm 0,26 ^{bA}	2,54 \pm 0,24 ^{abB}	2,94 \pm 0,16 ^{aA}
	237 (90)	1,50 \pm 0,10 ^{bB}	2,83 \pm 0,15 ^{abA}	2,95 \pm 0,18 ^{bA}

Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn ($p \leq 0,05$).

Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, dentro do mesmo nível de tiamina e comparando para as diferentes velocidades de rotação da rosca, indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Mann-Whitney ($p \leq 0,05$).

Algumas condições de extrusão: Taxa de alimentação = 170 g/min, Umidade da matéria-prima: 35% (b.s.).

*Temperatura de extrusão na zona 5.

Tabela A7: Teste de reidratação/intensidade do odor de carne/característica predominante no sabor dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no terceiro grupo de testes.

Tiamina (%)	VR em rpm (em %)	130 °C*	150 °C	170 °C
1	184 (70)	resistente/forte/carne**	mole/forte/carne	mole/fraco/carne
	237 (90)	duro/fraco/carne	resistente/fraco/carne	mole/fraco/carne
3	184 (70)	resistente/forte/amargo	resistente/forte/amargo	resistente/forte/amargo
	237 (90)	duro/forte/amargo	resistente/forte/amargo	mole/fraco/amargo
5	184 (70)	resistente/forte/amargo	resistente/forte/amargo	resistente/forte/amargo
	237 (90)	resistente/forte/amargo	resistente/forte/amargo	resistente/forte/amargo

*Temperatura na zona 5 da extrusora.

**Avaliação subjetiva dos extrusados, sendo: teste de reidratação/intensidade do odor de carne/característica do sabor do extrusado.

Com relação à quantidade de tiamina, observou-se que a partir de 3% de tiamina a intensidade do odor de carne no produto pôde ser considerada forte, no entanto, os extrusados

apresentaram gosto amargo. Por isso, um último teste foi realizado para confirmar a quantidade de tiamina a ser utilizada como precursor de odor e sabor de carne.

Os resultados obtidos no quarto grupo de testes (Tabela A8) mostraram que a partir de 2% de adição de tiamina à proteína concentrada de soja já foi capaz de promover um leve gosto amargo no extrusado. E, portanto, foi definida a quantidade de 1,5% a alíquota do precursor tiamina a ser adicionada à matéria-prima para o delineamento experimental deste trabalho.

Quando os primeiros resultados de odor e sabor de carne foram obtidos por meio da adição de tiamina, pensou-se em considerar a quantidade de tiamina como uma variável independente do delineamento experimental. No entanto, o desenvolvimento de gosto amargo nos extrusados dificultou trabalharmos com esta variável independente.

Tabela A8: Característica do sabor dos extrusados de proteína concentrada de soja, obtidos no quarto grupo de testes.

Tiamina	1,5%	2,0%	2,5%
Característica do sabor do extrusado	carne	amargo	amargo

Algumas condições de extrusão: Umidade da matéria-prima: 35% (b.s.); Temperatura na zona 5 = 150 °C; Taxa de alimentação = 170 g/min, Velocidade de rotação da rosca = 210 rpm (80%).

A4. CONCLUSÕES

A extrusão da proteína concentrada de soja resultou em extrusados com adequadas características de expansão e texturização. A utilização da tiamina como precursor de aroma, quando adicionada em uma quantidade de 1,5% à matéria-prima antes da extrusão, resultou em extrusados com odor e sabor de carne. E, após os diversos testes realizados, os pontos centrais do delineamento foram definidos como sendo: umidade a 35% (b.s.), temperatura na zona 5 da extrusora de 150 °C e velocidade de rotação da rosca a 210 rpm.

REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International: método oficial 925.10.** 16. ed., v. 2. Gaithersburg: 1997.

BAEK, H. H. et al. Aroma extract dilution analysis of a beeflike process flavor from extruded enzyme-hydrolyzed soybean protein. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 790–793, 2001.

CHEN, F. L.; WEI, Y. M.; ZHANG, B. Chemical cross-linking and molecular aggregation of soybean protein during extrusion cooking at low and high moisture content. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 957–962, 2011.

CONTI-SILVA, A. C. et al. Effects of extrusion on the emulsifying properties of rumen and soy protein. **Food Biophysics**, v. 5, n. 2, p. 94–102, 2010.

CONTI-SILVA, A. C.; SILVA, M. E. M. P.; ARÊAS, J. A. G. Sensory acceptability of raw and extruded bovine rumen protein in processed meat products. **Meat Science**, v. 88, n. 4, p. 652–656, 2011.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y. Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 121, n. 1, p. 32–38, 2014.

FRAZIER, P. J. et al. Optimization of process variables in extrusion texturing of soya. In: JOWITT, R. (Ed.). **Extrusion cooking technology**. London: Elsevier Applied Science, 1984. p. 1–25.

GÜNTERT, M. et al. Thermally degraded thiamin. In: TERANISHI, ROY; TAKEOKA, GARY R.; GÜNTERT, M. (Ed.). **Flavor Precursors: Thermal and enzymatic conversions**. Washington: America Chemical Society, 1992. p. 140–163.

LIN, S.; HUFF, H. E.; HSIEH, F. Extrusion Process Parameters, Sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analog. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 3, p. 1066–1072, 2002.

LIN, S.; HUFF, H. E.; HSIEH, F. Texture and Chemical Characteristics of Soy Protein Meat Analog Extruded at High Moisture. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 2, p. 264–269, 2000.

MAJCHER, M. A.; JELEŃ, H. H. Effect of cysteine and cystine addition on sensory profile and potent odorants of extruded potato snacks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 14, p. 5754–5760, 2007.

MILANI, T. M. G. et al. Pre-extrusion aromatization of a soy protein isolate using volatile compounds and flavor enhancers: Effects on physical characteristics, volatile retention and sensory characteristics of extrudates. **Food Research International**, v. 62, p. 375–381, 2014.

MITCHELL, J. R.; ARÊAS, J. A. G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, C. T.; KARWE, M. V. (Eds.). **Food extrusion science and technology**. New York: M. Dekker, 1992. p. 345–360.

PARADA, J.; AGUILERA, J. M.; BRENNAN, C. Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 3, p. 324–332, 2011.

REGITANO-D'ARCE, M. A. B. Produtos proteicos de soja. In: OETTERER, MARÍLIA; REGITANO-D'ARCE, MARISA APARECIDA BISMARA; SPOTO, M. H. F. (Ed.). **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. 1. ed. ed. Barueri: Manole, 2006. p. 612.

YU, L.; RAMASWAMY, H. S.; BOYE, J. Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 279–289, 2013.

ZHU, L. J. et al. Mechanical and microstructural properties of soy protein - High amylose corn starch extrudates in relation to physiochemical changes of starch during extrusion. **Journal of Food Engineering**, v. 100, n. 2, p. 232–238, 2010.

APÊNDICE 2: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José do Rio Preto

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

(Conselho Nacional de Saúde, Resolução 466/2012)

Você está sendo convidado a participar como voluntário do projeto de pesquisa "Desenvolvimento de proteína texturizada de soja com aroma e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de precursoras de aroma" sob responsabilidade da pesquisadora Talita Maira Goss Milani. O estudo será realizado por meio de análises sensoriais de extrusados de proteína concentrada de soja (proteína texturizada de soja) e de hambúrguer de soja, quanto à diferença de intensidade de aroma/sabor de carne, aceitação sensorial, perfil sensorial e perfil dos compostos voláteis presentes nos extrusados. Neste momento, você está participando de uma ou mais destas etapas. Os riscos à sua saúde são mínimos, pois os extrusados foram elaborados com a adição de precursores de aroma, os quais são compostos que podem ser utilizados em alimentos, e os produtos foram elaborados seguindo as Boas Práticas de Manipulação. No entanto, tanto os precursores de aroma quanto a soja podem possuir baixa capacidade de induzir resposta alérgica, caracterizando o risco mínimo. Além disso, a matéria-prima (proteína concentrada de soja) é livre de transgênicos, ou seja, não é um produto de soja geneticamente modificada. Você poderá consultar a pesquisadora responsável em qualquer época, pessoalmente ou pelo telefone da instituição (17-3221.2565), para esclarecimento de qualquer dúvida. Você está livre para, a qualquer momento, deixar de participar da pesquisa. Todas as informações por você fornecidas e os resultados obtidos serão mantidos em sigilo e, estes últimos só serão utilizados para divulgação em reuniões e revistas científicas. Você será informado de todos os resultados obtidos, independentemente do fato destes poderem mudar seu consentimento em participar da pesquisa. Você não terá quaisquer benefícios ou direitos financeiros sobre os eventuais resultados decorrentes da pesquisa. Este estudo é importante porque seus resultados fornecerão informações sobre as características sensoriais de produtos extrusados contendo alguns precursores de aroma, proporcionando uma redução da quantidade de lipídeos no produto final, se comparado a produtos convencionais. No caso de eventual problema de saúde (efeito adverso) decorrente de sua participação nos testes sensoriais, você será encaminhado à Seção Técnica de Saúde, situado à Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jardim Nazareth – São José do Rio Preto/SP – Telefones (17) 3221.2415 – 3221.2416 – 3221.2485.

Diante das explicações, se você concorda em participar deste projeto, coloque sua assinatura a seguir e forneça os dados solicitados.

Nome: _____ R.G. _____

Endereço: _____ Fone: _____

_____ de _____ de 20____.

Usuário ou responsável legal

Pesquisadora responsável

OBS.: Termo apresenta duas vias, uma destinada ao usuário ou seu representante e a outra ao pesquisador.

Nome Pesquisadora: Talita Maira Goss Milani	Cargo/Função: Aluna de pós-graduação (doutorado)
Instituição: Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos/IBILCE/UNESP	
Endereço: Rua Cristóvão Colombo, 2265 – Jd. Nazareth – São José do Rio Preto/SP	
Projeto submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE/UNESP São José do Rio Preto – fone 17-3221.2428/2563 e 3221.2482	

**APÊNDICE 3: EXEMPLO DE FICHA DE ANÁLISE DESCRITIVA RATE-ALL-
THAT-APPLY (RATA) DE ANÁLOGO DE CARNE***

Nome: _____ Data: _____

CÓDIGO DA AMOSTRA: _____

Por favor, observe, cheire e prove a amostra de **carne de soja** e selecione a intensidade dos termos que descrevem o produto. Se for o caso, assinale 'não aplicável' para os termos que não se aplicam a esta amostra.

Grânulos uniformes	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Cor branca	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Cor caramelo	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Cheiroso	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Odor de carne	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Gostoso	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Odor de soja	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Textura esfarelenta/arenosa	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de miojo	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Textura borrachenta	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor residual de queimado	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Textura úmida	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de carne	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de tempero	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Gosto salgado	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta

*A denominação “carne de soja” foi utilizada na ficha sensorial por se tratar do termo mais utilizado entre os consumidores que participaram deste trabalho.

**APÊNDICE 4: EXEMPLO DE FICHA DE ANÁLISE DESCRITIVA RATE-ALL-
THAT-APPLY (RATA) DE HAMBÚRGUER DE SOJA**

Nome: _____ Data: _____

CÓDIGO DA AMOSTRA: _____

Por favor, **observe, cheire e prove** a amostra de **hambúrguer de soja** e selecione a intensidade dos termos que descrevem o produto. Se for o caso, assinale 'não aplicável' para os termos que não se aplicam a esta amostra.

Cor branca	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Cor caramelo	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Cheiroso	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Odor de frango	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Gostoso	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Odor de soja/vegetal	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sensação de grudar na boca e na língua	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Odor de carne	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Textura fibrosa/Difícil de mastigar	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Odor de toucinho	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Quebradiço	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de frango	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Textura macia	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de tempero	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Textura úmida	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de soja	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta
Sabor de miojo	() Não aplicável	() Intensidade baixa	() Intensidade média	() Intensidade alta

APÊNDICE 5: VALORES DE P DO TESTE T DE STUDENT ENTRE AS REPETIÇÕES DO PROCESSO DE EXTRUSÃO

Tratamentos (Análogo de carne)	Capacidade de absorção de água	Força de compressão	Aparência	Odor	Textura	Sabor	Aceitação global
34,0% U/sem tiamina	0,822	0,498	0,257	0,689	<u>0,024</u>	<u>0,001</u>	<u>0,001</u>
28,4% U/com tiamina	<u>0,011</u>	<u>0,002</u>	<u>0,040</u>	0,064	0,346	0,877	0,437
34,0% U/com tiamina	<u>0,002</u>	0,053	0,240	1,000	0,570	0,768	0,379

Tratamentos (Hambúrguer de soja)	Rendimento	Encolhimento	Dureza	Coesividade	Elasticidade	Mastigabilidade
34,0% U/sem tiamina	<u>0,004</u>	0,417	<u>0,002</u>	0,241	0,816	0,108
28,4% U/com tiamina	<u>0,005</u>	0,382	0,300	0,265	0,149	0,086
34,0% U/com tiamina	<u>0,000</u>	<u>0,023</u>	0,774	0,924	0,186	0,797

	Aparência	Odor	Textura	Sabor	Aceitação global
34,0% U/sem tiamina	1,000	0,948	0,433	0,367	0,929
28,4% U/com tiamina	0,393	<u>0,025</u>	0,051	0,052	<u>0,036</u>
34,0% U/com tiamina	0,786	0,447	0,471	0,884	0,355

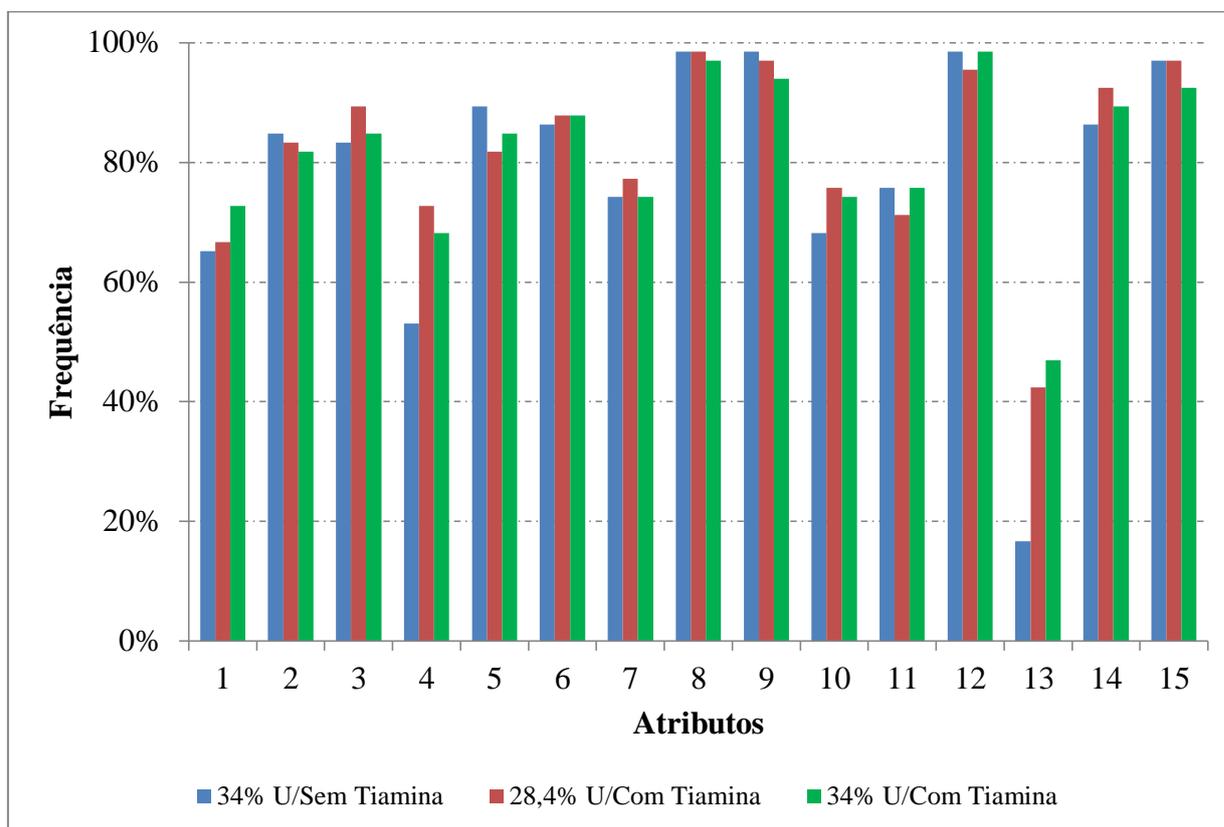
U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Valores de $p > 0,05$ indicam igualdade estatística entre as duas repetições do processo para cada variável.

Valores com grifo indicam $p \leq 0,05$.

APÊNDICE 6: FREQUÊNCIAS DE ATRIBUTOS APLICÁVEIS POR AMOSTRA

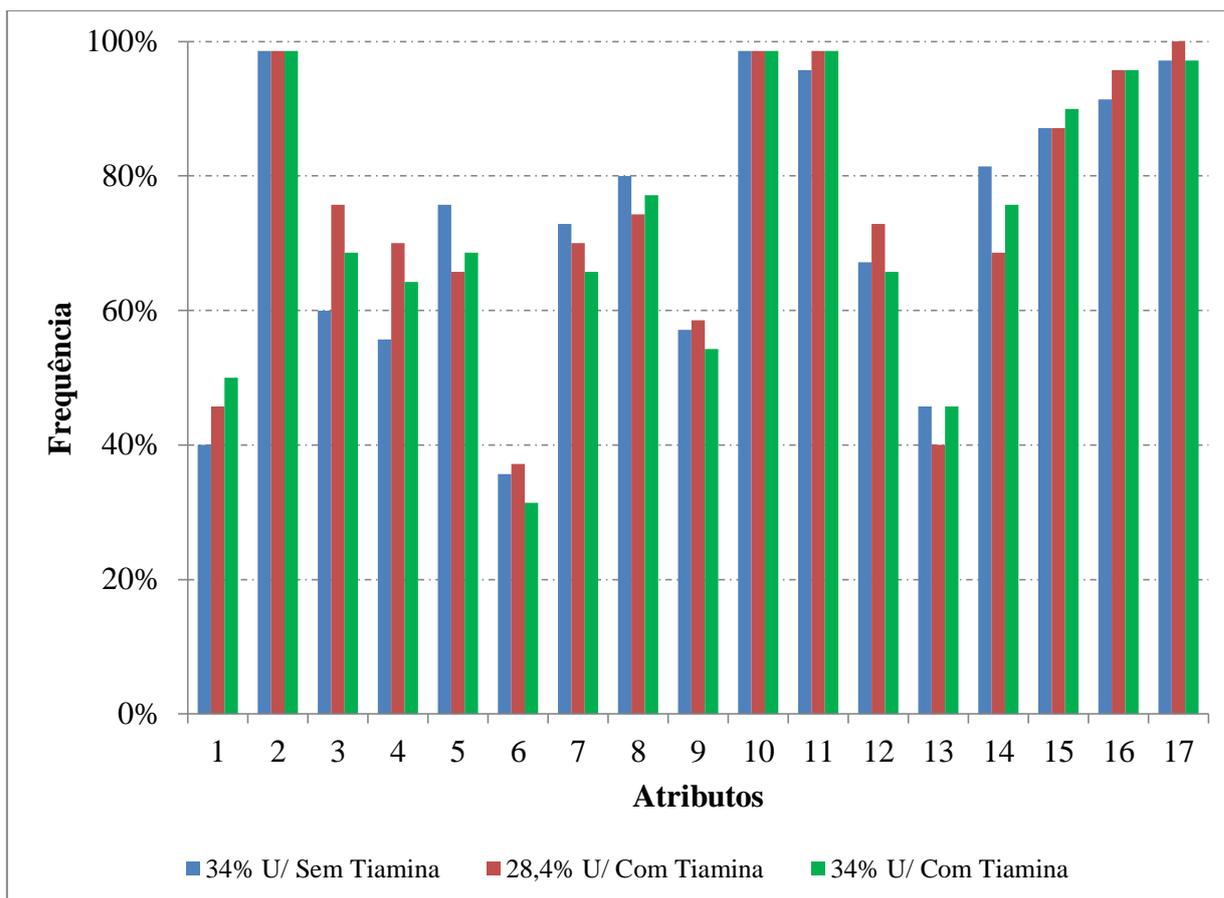
A6.1: Frequência de atributos aplicáveis por amostra de análogo de carne.



U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Atributos: cor branca (1); cor caramelo (2); grânulos uniformes (3); odor de carne (4); odor de soja (5); textura borrachenta (6); textura esfarelenta/arenosa (7); textura úmida (8); gosto salgado (9); sabor de carne (10); sabor de miojo (11); sabor de tempero (12); sabor residual de queimado (13); cheiroso (14); gostoso (15).

A6.2: Frequência de atributos aplicáveis por amostra de hambúrguer de soja.



U = umidade da proteína concentrada de soja (base seca).

Atributos: cor branca (1); cor caramelo (2); odor de carne (3); odor de frango (4); odor de soja/vegetal (5); odor de toucinho (6); quebradiço (7); sensação de grudar na boca e na língua (8); textura fibrosa/difícil de mastigar (9); textura macia (10); textura úmida (11); sabor de frango (12); sabor de miojo (13); sabor de soja (14); sabor de tempero (15); cheiroso (16); gostoso (17).

ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
LETRAS E CIÊNCIAS
EXATAS/CAMPUS DE SÃO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Desenvolvimento de proteína texturizada de soja com aroma e sabor de carne por meio da adição pré-extrusão de precursores de aroma.

Pesquisador: Talita Maira Goss Milani

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 46509315.2.0000.5466

Instituição Proponente: Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas/ Campus de São José do

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.295.789

Apresentação do Projeto:

O presente projeto visa estudos envolvendo proteína texturizada de soja (PTS) como alternativa a carne. As PTS, tal como a proteína de soja, são muito similares a carne em sua textura, contudo exibem menor valor energético. Nesse contexto, a pesquisadora propõe experimentos de flavorização na PTS, buscando analogia ao sabor/aroma de carne.

Objetivo da Pesquisa:

O projeto possui como objetivo geral determinar os precursores de aroma para a obtenção do aroma e sabor de carne na PTS, processada por extrusão. Os precursores de aroma serão adicionados à farinha de soja desengordurada e então submetidos a extrusão em diferentes temperaturas, velocidades de rotação e níveis de umidade. Os compostos voláteis remanescentes nos extrusados de PTS serão analisados por CG-EM e CG-olfatometria. As diferentes amostras de PTS serão processadas em hambúrgueres. Os objetivos que envolvem experimentação com humanos, são a aceitação sensorial avaliada diretamente na PTS aromatizada e nos hambúrgueres.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos – A pesquisadora propõe que os riscos são mínimos à saúde dos participantes da análise sensorial, uma vez que os extrusados de PTS apresentam baixo potencial alergênico. Salienta-se

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2265

Bairro: JARDIM NAZARETH

CEP: 15.054-000

UF: SP

Município: SAO JOSE DO RIO PRETO

Telefone: (17)3221-2428

Fax: (17)3221-2500

E-mail: liliane@bilce.unesp.br

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
LETRAS E CIÊNCIAS
EXATAS/CAMPUS DE SÃO**



Continuação do Parecer: 1.295.789

que a pesquisadora reconheceu o risco mínimo de alergenicidade dos preparados de soja, como preconizado no parecer anterior, o qual levou parte da pendência.

Benefícios – A pesquisadora propõe como benefício central de sua proposta, a obtenção de produtos com menor valor energético. Fato atribuído ao uso de precursores de aroma que evitam a utilização convencional de veículos lipídicos (compostos calóricos) para aromatização de produtos extrusados. Acredita-se, que esse benefício seja alcançado. Contudo, não pode ser o benefício central da pesquisa, pois não se observa nenhuma metodologia de avaliação do valor nutricional da PTS e seus hambúrgueres.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A proposta encontra-se muito bem descrita, sendo clara em seus objetivos. A parte tecnológica e de aceitação sensorial estão completamente adequados.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE encontra-se totalmente adequado. A pesquisadora atendeu aos itens que consideravam baixa alergenicidade e transgenia.

Recomendações:

NÃO SE APLICA

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

A pesquisadora atendeu, plenamente, às pendências de sua proposta original.

Considerações Finais a critério do CEP:

O Comitê de Ética em Pesquisa do IBILCE, em reunião de 20 de outubro de 2015, deliberou, por unanimidade, pela aprovação do presente projeto de pesquisa. Os relatórios parciais deverão ser encaminhados semestralmente, contando a partir desta data.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_487486.pdf	18/09/2015 15:09:20		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_doutorado_CEP_corrigido.pdf	18/09/2015 14:56:45	Talita Maira Goss Milani	Aceito

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2265
 Bairro: JARDIM NAZARETH CEP: 15.054-000
 UF: SP Município: SAO JOSE DO RIO PRETO
 Telefone: (17)3221-2428 Fax: (17)3221-2500 E-mail: liliane@ibilce.unesp.br

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
LETRAS E CIÊNCIAS
EXATAS/CAMPUS DE SÃO



Continuação do Parecer: 1.295.789

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_doutorado_talita_corrigido.pdf	18/09/2015 14:55:55	Talita Maira Goss Milani	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_assinada.pdf	24/06/2015 21:05:41		Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SAO JOSE DO RIO PRETO, 26 de Outubro de 2015

Assinado por:

Monica Abrantes Galindo de Oliveira
(Coordenador)

Endereço: CRISTOVAO COLOMBO 2265

Bairro: JARDIM NAZARETH

CEP: 15.054-000

UF: SP

Município: SAO JOSE DO RIO PRETO

Telefone: (17)3221-2428

Fax: (17)3221-2500

E-mail: liliane@bilce.unesp.br

TERMO DE REPRODUÇÃO XEROGRÁFICA

Autorizo a reprodução xerográfica do presente Trabalho de Conclusão, na íntegra ou em partes, para fins de pesquisa.

São José do Rio Preto, 11 / 06 / 18



Assinatura do autor