



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos



HELOISA GABRIELLE GONÇALVES

DESIDRATAÇÃO DE PULMÃO SUÍNO COMO PRODUTO MASTIGÁVEL (SNACK) PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO

Patos de Minas - MG

2024

HELOISA GABRIELLE GONÇALVES

**DESIDRATAÇÃO DE PULMÃO SUÍNO COMO PRODUTO
MASTIGÁVEL (SNACK) PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana

Coorientadoras: Prof^a. Dr^a. Marieli de Lima

Prof^a. Dr^a. Marta Fernanda

Zotarelli

Patos de Minas - MG

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas
Rua Vereador Chico Filgueira, 33, 3º andar, Sala 21 - Bairro Caiçaras, Patos de Minas-MG, CEP 38702-178
Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 9/2024 - PPGEA				
Data:	Vinte e três de julho de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:45
Matrícula do Discente:	42122EAL003				
Nome do Discente:	Heloisa Gabrielle Gonçalves				
Título do Trabalho:	Desidratação de pulmão suíno como produto mastigável (<i>snack</i>) para animais de estimação				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Ricardo Correa de Santana (Presidente/Orientador), Neiton Carlos da Silva (Membro UFU), e Patrícia Benelli (Membro Externo).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e o(a) discente, agradeceu a participação do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) mesmo(a) se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu o conceito final, considerando o(a) discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Presidente**, em 23/07/2024, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/07/2024, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Benelli, Usuário Externo**, em 23/07/2024, às 17:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5516438** e o código CRC **F495D592**.

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

G635
2024
Gonçalves, Heloisa Gabrielle, 1996-
Desidratação de pulmão suíno como produto mastigável
(snack) para animais de estimação [recurso eletrônico] /
Heloisa Gabrielle Gonçalves. - 2024.

Orientador: Ricardo Corrêa de Santana.

Coorientadora: Marieli de Lima.

Coorientadora: Marta Fernanda Zotarelli.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.450>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Alimentos - Indústria. I. Santana, Ricardo Corrêa
de,1981-, (Orient.). II. Lima, Marieli de,1985-,
(Coorient.). III. Zotarelli, Marta Fernanda,1985-,
(Coorient.). IV. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. V. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

Dedico este trabalho ao meu marido Anderson, pela paciência, amor e apoio incondicional; ao meu filho Gael, minha maior inspiração e alegria; e aos meus pais, Jócia e Bolivar, por sempre me incentivarem a seguir meus sonhos. Esta conquista é nossa!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus! Esta conquista só foi possível pela força e sabedoria que Ele me deu ao longo desta jornada de aprendizado. Em todas as vezes em que pensei em desistir, foi a mão Dele que me fez parar, respirar e seguir. Como em Josué 1:9, eu confiei Nele: "Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar".

À minha família, meu alicerce fundamental, que me apoiou em todos os momentos deste caminho, compreendeu a minha ausência e suportou todo o processo junto comigo. Em especial, ao meu marido Anderson, pela paciência, cuidado, carinho e compreensão; aos meus pais, Jócia e Bolivar, que sempre acreditaram no meu potencial e me encorajaram a seguir em frente; e ao meu filho Gael, minha inspiração, meu orgulho e alegria diárias. Amo vocês e sou infinitamente grata!

Aos meus amigos, pela companhia e apoio, que tornaram essa caminhada mais leve e agradável. Aos meus colegas de mestrado, que tornaram essa trajetória um pouco menos solitária, obrigada por compartilharem experiências, aprendizados e desafios, além de boas risadas em momentos de descontração.

Aos meus orientadores, Dr. Ricardo, Dra. Marieli e Dra. Marta, que com sua orientação, paciência e conhecimento, me guiaram durante todo o processo de pesquisa e redação deste trabalho. Sou imensamente grata por suas contribuições e ensinamentos. Vocês são uma inspiração!

Por fim, gostaria de agradecer aos técnicos do laboratório, que sempre estiveram dispostos a ajudar, oferecendo suporte técnico e contribuindo para o desenvolvimento deste projeto.

A todos, de todo o meu coração: meu sincero agradecimento!

RESUMO

A crescente humanização dos animais de estimação impulsiona o mercado *pet food*, exigindo produtos seguros, estáveis e sustentáveis, valorizando coprodutos da cadeia produtiva da carne de forma a aumentar seu valor agregado. Portanto, este estudo investigou a desidratação do pulmão suíno para desenvolvimento de um *snack* mastigável para animais de estimação. A metodologia incluiu a caracterização físico-química do pulmão suíno *in natura*, a avaliação da secagem convectiva em estufa e *cast-tape drying* e caracterização do produto resultante das secagens. As variáveis de processo avaliadas em ambos os processos, por meio da metodologia de planejamento fatorial de experimentos, foram temperatura (70, 80 e 90 °C) e espessura do pulmão (3, 4 e 5 mm). Os resultados mostraram que o pulmão suíno *in natura* possui alto valor nutricional, com umidade de 83,51%, teores de proteínas de 12,56%, gordura de 1,70% e cinzas de 0,98%. A secagem convectiva apresentou maior tempo de processo em comparação com o *cast-tape drying* para umidades da amostra de 10% ou menores, resultando em produtos com menor atividade de água, entre 0,117 e 0,365, coloração mais escura e com menor retenção de pigmentos heme totais, que variaram entre 29,52 e 44,08 mg/g de amostra e menor retenção de ferro heme, variando de 0,1 a 0,15 mg de HFe/g de amostra. O método *cast-tape drying* demonstrou maior eficiência na retenção da cor vermelha, com pigmentos heme totais variando entre 41,25 e 52,98 mg/g de amostra, maior retenção de ferro heme (de 0,14 a 0,18 mg de HFe/g de amostra), porém com maior atividade de água que, ainda assim, ficou abaixo de 0,4 na maioria das condições. Os pulmões secos a 80 e 90°C em todas as espessuras na secagem convectiva e 90°C com 5 mm de espessura na secagem em *cast-tape drying* foram mais higroscópicas do que as demais condições. A composição centesimal do produto seco variou pouco com o método e condições de secagem, mantendo assim a qualidade nutricional do pulmão suíno. Além disso, a análise de textura instrumental revelou que a secagem convectiva resultou em valores de dureza entre 5,00 e 20,35 N, enquanto o *cast-tape drying* apresentou valores entre 7,04 e 14,70 N. As curvas de isotermas de sorção de umidade modeladas pelos modelos GAB e BET indicaram um comportamento sigmoide, característico de materiais com alta afinidade inicial pela água, com valores de umidade da monocamada próximos a 0,06 g de água/g de sólidos secos. Conclui-se que o pulmão suíno desidratado apresenta potencial significativo como *snack* mastigável para animais de estimação, oferecendo benefícios nutricionais e contribuindo para a valorização de subprodutos da indústria da carne. A desidratação por *cast-tape drying* mostrou-se uma tecnologia promissora para a produção de alimentos secos de alta qualidade, preservando as propriedades nutricionais do produto seco.

Palavras-chaves: desidratação; pulmão suíno; petisco; secagem convectiva; *cast-tape drying*; víscera suína.

ABSTRACT

The growing humanization of pets is driving the pet food market, creating a demand for safe, stable, and sustainable products that utilize co-products from the meat production chain to enhance their added value. This study investigated the dehydration of porcine lungs to develop a chewable snack for pets. The methodology included the physicochemical characterization of fresh pork lung, the evaluation of convective oven drying and cast-tape drying, and the characterization of the resulting dried product. The process variables evaluated in both methods were: temperature (70, 80, and 90 °C) and lung thickness (3, 4, and 5 mm). The results indicated that fresh pork lung has high nutritional value, with moisture at 83.51%, protein content at 12.56%, fat at 1.70%, and ash at 0.98%. Convective drying presented a longer process time compared to cast-tape drying for samples with moisture content of 10% or lower, resulting in darker products with lower retention of total heme pigments, which varied between 29.52 and 44.08 mg/g of sample, and lower heme iron retention, ranging from 0.1 to 0.15 mg of HFe/g of sample. In contrast, the cast-tape drying method showed greater efficiency in retaining the red color, with total heme pigments varying between 41.25 and 52.98 mg/g of sample, greater retention of heme iron (from 0.14 to 0.18 mg of HFe/g of sample), and higher water activity, which was below 0.4 in most conditions. The lungs dried at 80 and 90 °C at all thicknesses in convective drying, and at 90 °C with 5 mm thickness in cast-tape drying, were more hygroscopic than those under other conditions. The drying methods did not significantly influence the proximate composition of the dried product, thus maintaining the nutritional quality of the pork lung. Additionally, instrumental texture analysis revealed that convective drying resulted in hardness values between 5.00 and 20.35 N, while cast-tape drying presented values between 7.04 and 14.70 N. The moisture sorption isotherm curves, modeled by the GAB and BET models, indicated a sigmoid behavior characteristic of materials with high initial affinity for water, with monolayer moisture values close to 0.06 g of water/g of dry solids. It is concluded that dehydrated pork lung has significant potential as a chewable snack for pets, offering nutritional benefits and contributing to the valorization of by-products from the meat industry. Dehydration by cast-tape drying has proven to be a promising technology for producing high-quality dried animal products, preserving the nutritional properties of the product.

Keywords: dehydration; pork lung; snack; convective drying; cast-tape drying; pork viscera.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Cadeia produtiva da carne suína	5
2.2 Produtos e coprodutos de origem animal	6
2.3 Pulmão suíno	8
2.4 Secagem	10
2.4.1 Secagem convectiva	11
2.4.2 Refractance window ou cast-tape drying	13
2.5 Alimentos para animais de estimação	15
2.6 Propriedades físico-químicas e nutricionais dos produtos <i>pet food</i> secos	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Preparação da matéria-prima	21
3.2 Caracterização da matéria-prima	22
3.2.1 Composição centesimal	22
3.2.1.1 Proteínas	22
3.2.1.2 Gordura	23
3.2.1.3 Umidade	24
3.2.1.4 Cinzas	24
3.3 Métodos de secagem	25
3.3.1 Secagem em estufa convectiva	25
3.3.2 Secagem em <i>cast-tape drying</i>	26
3.4 Caracterização do pulmão suíno seco	28

3.4.1	Composição centesimal.....	28
3.4.2	Determinação da cor	29
3.4.3	Quantificação de pigmentos heme totais e ferro heme	29
3.4.4	Textura instrumental	32
3.4.5	Isotermas de sorção de umidade	32
3.4.6	Higroscopicidade	33
3.4.7	Atividade de água	34
3.4.8	Planejamento experimental	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Caracterização da matéria-prima	38
4.1.1	Composição centesimal do pulmão suíno	38
4.2	Secagem convectiva em estufa e <i>cast-tape drying</i>	41
4.2.1	Cinética de secagem	41
4.2.2	Caracterização do produto seco.....	46
4.2.2.1	Composição centesimal	46
4.2.2.2	Atividade de água	49
4.2.2.3	Higroscopicidade	52
4.2.2.4	Quantidade de pigmentos heme totais e ferro heme	55
4.2.2.5	Determinação da cor	61
4.2.2.6	Textura instrumental	68
4.2.2.7	Isotermas de sorção de umidade	72
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do abate de suínos.....	6
Figura 2 – Representação dos elementos do sistema <i>Refractance window</i> (RW).....	13
Figura 3 – (a) Pulmão suíno íntegro, antes da retirada das estruturas adjacentes e (b) pulmão suíno após procedimento de redução de tamanho (moagem).....	22
Figura 4 – Matéria-prima preparada (a) para secagem convectiva em estufa (b).....	26
Figura 5 – (a) Aparato para realização da secagem por <i>cast-tape drying</i> e (b) aparato com o sistema de exaustão.....	27
Figura 6 – Pulmão suíno moído disposto em aparato para realização da secagem em <i>cast-tape drying</i> , duas placas de cada uma das três espessuras determinadas (3, 4 e 5 mm, respectivamente da esquerda para a direita): (a) vista superior e (b) vista lateral.....	27
Figura 7 – (a) Amostra de pulmão suíno seco triturado em gral e pistilo de cerâmica; (b) amostra de pulmão suíno seco pesado em tubos de ensaio com tampa; (c) extrato filtrado em funil de vidro com papel filtro quantitativo; (d) extrato do filtrado nos balões volumétricos.....	30
Figura 8 – Pulmão suíno moído seco em estufa convectiva sendo submetido a análise de textura instrumental.....	32
Figura 9 – Pulmão suíno moído seco por <i>cast-tape drying</i> sendo submetido a análise de atividade de água.....	35
Figura 10 – Curvas de cinética de secagem do pulmão suíno nas espessuras de 3, 4 e 5 mm para: (a) e (b) temperatura de 70°C na estufa convectiva e <i>cast-tape drying</i> , respectivamente; (c) e (d) temperatura de 80°C na estufa convectiva e <i>cast-tape drying</i> , respectivamente; (e) e (f) na temperatura de 90°C na estufa convectiva e <i>cast-</i>	

tape drying; (g) e (h), para estufa convectiva e *cast-tape drying* a 70 e 90°C e espessura da amostra de 3 e 5 mm, respectivamente.....41

Figura 11 - Superfície de resposta para o tempo de secagem em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada: (a) para estufa convectiva, (b) para *cast-tape drying*.....44

Figura 12 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para: (a) e (b) atividade de água; sendo (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.....50

Figura 13 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para (a) e (b) higroscopicidade; sendo (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.....54

Figura 14 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para: (a) e (b) pigmentos heme totais; (c) e (d) ferro heme; sendo (a) e (c), para secagem em estufa convectiva e (b) e (d) para *cast-tape drying*.....58

Figura 15 – Imagem do pulmão suíno moído: (a) fresco, (b) seco em estufa convectiva em espessura de 4 mm a 90 °C e (c) seco por *cast-tape drying* em espessura de 4 mm a 80 °C.....63

Figura 16 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada para: (a) e (b) parâmetro a^* ; (c) e (d) mudança global de cor; (e) e (f) ângulo de tonalidade; sendo (a), (c) e (e) para secagem estufa convectiva e (b), (d) e (f) para *cast-tape drying*.....66

Figura 17 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para (a) e (b) dureza; sendo (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.....70

Figura 18 – Isotermas de sorção de umidade do pulmão suíno (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.....74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores e níveis dos planejamentos 3^2 e 2^3	35
Tabela 2 - Planejamento fatorial 3^2	36
Tabela 3 - Planejamento fatorial 2^3	36
Tabela 4 – Composição centesimal do pulmão suíno <i>in natura</i>	38
Tabela 5 - Efeitos significativos para o tempo de secagem.....	43
Tabela 6 – Composição centesimal do pulmão suíno moído seco	47
Tabela 7 – Resultados de atividade de água para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e por <i>cast-tape drying</i>	49
Tabela 8 - Efeitos significativos para atividade de água para o planejamento fatorial 2^3	50
Tabela 9 – Resultados de higroscopicidade para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e por <i>cast-tape drying</i>	52
Tabela 10 - Efeitos significativos para quantidade de higroscopicidade para o planejamento fatorial 2^3	53
Tabela 11 – Resultados de quantidade de pigmentos heme totais e quantidade de ferro heme para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva	56

Tabela 12 – Resultados de quantidade de pigmentos heme totais e quantidade de ferro heme para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de <i>cast-tape drying</i>	56
Tabela 13 - Efeitos significativos para pigmentos heme e ferro heme para o planejamento fatorial 2 ³	57
Tabela 14 – Resultados dos parâmetros de cor instrumental L^* , a^* , b^* , chroma (C^*), ângulo de tonalidade (h°) e variação global de cor (ΔE) para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e <i>cast-tape drying</i>	62
Tabela 15 – Resultados dos parâmetros de cor para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de <i>cast-tape drying</i>	62
Tabela 16 - Efeitos significativos para os parâmetros de cor instrumental para o planejamento fatorial 2 ³	64
Tabela 17 – Resultados de dureza (N) para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e de <i>cast-tape drying</i>	69
Tabela 18 - Umidade de equilíbrio das condições de secagem em estufa convectiva e <i>cast-tape drying</i> submetidas a diferentes umidades relativas	73
Tabela 19 - GAB e BET para o pulmão seco secagem em estufa convectiva e <i>cast-tape drying</i>	73

1 INTRODUÇÃO

A relação entre humanos e animais de estimação vem sendo estudada há muito tempo por diversas áreas de pesquisa (Franklin; White, 2001). Esse aumento nas pesquisas indica o crescente interesse da população pelos animais domésticos, sendo que a elevação da renda permitiu aos tutores um maior investimento no consumo de produtos e serviços destinados a esses animais (Larson, 2014). Esse cenário evidencia o potencial de trabalhos relacionados à alimentação e ao bem-estar de animais de estimação, de forma a desenvolver novos produtos que simultaneamente atendam às necessidades dos *pets* e agreguem valor a coprodutos da indústria.

A partir da segunda metade do século XX, o mercado de produtos destinados aos animais de estimação cresceu de forma significativa (Viana et al., 2020), especialmente no desenvolvimento de alimentos saudáveis, seguros e estáveis. Espera-se que o mercado *pet food* (alimentos para animais de estimação) continue crescendo e se desenvolvendo em um ritmo constante nos próximos anos (Palumbo et al., 2020). A humanização de animais de estimação é um dos principais fatores responsáveis pelo crescimento observado nesse setor (Larson, 2014).

O mercado *pet* (produtos e serviços para animais de estimação) é crescente também em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. O mercado brasileiro ocupa a sexta colocação no *ranking* de faturamento mundial no setor destinado aos animais de estimação, referente ao ano de 2022. A Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (ABINPET), em relatório referente ao ano de 2022, descreveu um cenário favorável ao setor *pet* (alimentos, medicamentos e acessórios) com um faturamento de R\$ 41,9 bilhões no Brasil, sendo o mercado *pet food* responsável por 80% desse valor (ABINPET, 2023).

Nesse contexto, a nutrição é extremamente importante para a manutenção da saúde e bem-estar dos animais (Aptekmann et al., 2013), sendo ainda impulsionada e diretamente influenciada pelas crenças e preferências dos tutores por produtos com bom aporte proteico e vitamínico e oriundos de fontes seguras, naturais e que promovam benefícios à saúde dos animais (Buff et al., 2014).

Desta forma, novas matérias-primas e ingredientes proteicos vêm sendo disponibilizados e utilizados para apoiar o crescimento da demanda, cada vez mais

exigente (do ponto de vista dos tutores) do mercado de alimentos para animais de estimação. Além disso, novos ingredientes têm sido adicionados e testados no desenvolvimento de novos produtos, mantendo as necessidades nutricionais e a qualidade alimentar dos animais (Donadelli et al., 2019). Nesse contexto estão também o uso de subprodutos de origem animal, que no geral apresentam baixo valor de mercado, porém apresentam elevado potencial nutricional.

Com os recentes estudos a respeito das diversas fontes de proteínas de origem animal verifica-se nelas a presença de outros nutrientes essenciais, como as vitaminas (A, complexo B, niacina, entre outras) e os minerais (ferro, cálcio, potássio etc.), encontrados em vísceras e coprodutos da cadeia produtiva da carne, o que mostra que essas fontes possuem quantidades muito competitivas em relação aos cortes nobres. Com isso, a indústria *pet* vem se desenvolvendo e desmistificando preconceitos do consumidor. Logo, uma vez que as vísceras contêm quase a mesma proporção de nutrientes essenciais, vitaminas e minerais que os cortes tradicionais (algumas vísceras em teor maior, como é o caso do fígado), é imprescindível pesquisas a fim de compreender os benefícios inerentes dos alimentos atualmente disponíveis, mas não aproveitados da melhor forma, para fornecer uma nutrição adequada aos animais domiciliados (Di Cerbo et al., 2017).

Nesse contexto, entre as diversas fontes proteicas, o pulmão suíno, apesar de ser um órgão com baixa demanda de consumo humano devido a aparência e textura não atrativas, principalmente em sua forma *in natura*, possui qualidades nutricionais e funcionais equivalentes ou, às vezes, maiores em comparação com outros cortes (Chávez-Jáuregui et al., 2003; Darine et al., 2010; Jayawardena et al., 2019). O potencial de utilização deste coproduto da indústria da carne desperta interesse devido ao seu alto valor nutricional com destaque para as proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais, ferro heme, dentre outros (Devatkal et al., 2004; López; Martos, 2004; Seong et al., 2014). Além disso, tem custo financeiro relativamente baixo em comparação às partes mais nobres, ou seja, a demanda por esse tipo de produto não complete diretamente com os cortes destinados ao consumo humano, o que o torna uma matéria-prima viável economicamente.

A desidratação dos alimentos naturais destinados a alimentação de animais de estimação (sem adição de corantes e conservantes artificiais, flavorizantes,

aromatizantes, palatilizantes artificiais, etc.) apresenta vantagens significativas em comparação à refrigeração e congelamento como métodos de conservação. Enquanto a refrigeração mantém os alimentos a temperaturas entre 0 e 7°C, o congelamento requer temperaturas de -18°C (ou inferiores), com riscos de crescimento microbiano ainda presente em -10°C. No entanto, é em torno de -18°C ou abaixo desta temperatura que ocorre a inibição efetiva dos microrganismos (Saad; França, 2010). Além disso, a conservação de um produto na cadeia do frio é um processo oneroso e pequenas variações de temperatura podem ter grande impacto nas propriedades físico-químicas e nutricionais do produto.

A desidratação, portanto, emerge como uma opção viável e eficiente, uma vez que a baixa umidade dos produtos desidratados cria uma condição desfavorável ao crescimento microbiano e reações bioquímicas e enzimáticas indesejáveis, o que aumenta sua vida útil. Além disso, a desidratação oferece benefícios adicionais, como a possibilidade de preservação das propriedades nutricionais e sensoriais dos alimentos, ao mesmo tempo em que aumenta o tempo de conservação e potencializa seu valor agregado. Portanto, a desidratação pode garantir a segurança e a qualidade dos alimentos (Petit et al., 2014; Rostami, 2017).

Métodos de secagem frequentemente são o foco de várias pesquisas a fim de avaliar seu impacto na indústria de alimentos e sua ação na qualidade do produto final. A secagem convectiva é um método convencional que consiste na redução de água do produto por meio da aplicação de ar aquecido, o que provoca a evaporação da água conforme o sólido é aquecido (García-Alvarado et al., 2014; Bezerra et al., 2015). Esse método apresenta vantagens significativas, incluindo remoção eficiente da umidade dos produtos e praticidade, mas pode resultar em longos tempos de secagem quando comparado com outros métodos (Xu et al., 2019; Neill et al., 2022). Já o processo de *cast-tape drying* remove a umidade do alimento predominantemente através de condução (Rahman, 2007; Ortiz-Jerez et al., 2015), utilizando temperaturas moderadas quando comparado com outros métodos, obtendo taxas elevadas de secagem e redução do tempo do processo de desidratação (Ortiz-Jerez et al., 2015). Pesquisas indicam que essa técnica tem a capacidade de reter os compostos aromáticos e pigmentos ativos responsáveis pelos atributos sensoriais e nutricionais distintos dos alimentos (Raghavi et al., 2018).

Diante do que foi mencionado, desenvolver um produto mastigável a partir de víscera suína (pulmão) desidratada pode resultar em um petisco de valor agregado e nutricional satisfatório, em termos de concentração de proteína, vitaminas e gordura. Além disso, o produto mastigável é um promotor do bem-estar animal por meio da redução do estresse pela mastigação, o que pode conferir melhor saúde, além de configurar um alimento estável, seguro (seco) e natural.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi investigar processos de secagem de víscera suína (pulmão) e caracterizar o produto seco obtido, visando ao desenvolvimento de um produto alimentar mastigável seco (*snack*) para animais de estimação.

Como objetivos específicos têm-se:

- Caracterizar o pulmão *in natura* descongelado e moído quanto à sua composição centesimal (umidade, proteína, extrato etéreo, cinzas e carboidratos por fração NIFEXT) e suas propriedades físicas (atividade de água, cor instrumental e pigmentos heme totais);
- Obter o pulmão seco por meio da secagem convectiva em estufa e por *cast-tape drying*;
- Verificar em cada método de secagem o efeito das variáveis de processo importantes, como temperatura do meio secante e espessura da camada de material a ser seca nas propriedades físico-químicas do produto seco;
- Caracterizar o produto seco quanto à umidade, proteína, extrato etéreo, cinzas, cor instrumental, textura instrumental, isotermas de sorção de umidade, atividade de água, pigmentos heme totais, ferro heme e higroscopicidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cadeia produtiva da carne suína

O Brasil é um dos países mais importantes na produção, exportação e consumo global de produtos de origem animal, sendo um dos maiores produtores e exportadores de aves, bovinos e suínos em todo o mundo (USDA, 2022). Principalmente nas últimas décadas, a produção animal no Brasil tem aumentado de forma exponencial, consolidando o país como um dos principais protagonistas do mercado global de carnes (Hötzel; Vandresen, 2022).

Além da evolução nas pesquisas e tecnologias que envolvem a genética, a nutrição e a sanidade dos suínos, o mercado consumidor, tanto interno quanto externo, exige uma boa condição de manejo pré-abate, crucial para garantir o bem-estar dos suínos e reduzir perdas econômicas, além de melhorar a qualidade da carne para os consumidores finais (Warris; Brown, 2000). Desde a granja até o abate, é essencial minimizar o estresse e as lesões dos animais, especialmente durante o transporte e no abatedouro, para diminuir as condenações de carcaças e os prejuízos (Almeida et al., 2016). De acordo com a Portaria nº 365, de 16 de julho de 2021 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o abate humanitário de animais destinados ao consumo humano é caracterizado por um conjunto de diretrizes técnicas e científicas que visam garantir o bem-estar dos animais, desde sua chegada até o momento da operação de sangria.

No processo de abate de animais, carnes são *"as massas musculares e os demais tecidos que as acompanham, incluída ou não a base óssea correspondente, procedentes das diferentes espécies animais, julgadas aptas para o consumo pela inspeção veterinária oficial"* (RIISPOA, 2017). Esses são considerados os cortes nobres, ou seja, a parte mais valorizada da carcaça, mesmo não representando a maior parte da mesma (Marti; Johnson, 2012). Entretanto, durante o procedimento de abate (fluxograma disposto na Figura 1), também são obtidos os coprodutos da carne, que são basicamente tudo o que resta quando retira-se a parte mais valiosa da carcaça, os cortes cárneos. Dentre eles, pode-se citar o sangue, vísceras comestíveis, vísceras não-comestíveis, conteúdo gastrointestinal, pelos, chifres e pele, sendo que esses coprodutos do animal representam uma parte considerável

(Lynch et al., 2018). No caso dos suínos, o RIISPOA (2017) determina serem aptos ao consumo humano *"língua, fígado, coração, encéfalo, estômago, rins, pés, orelhas, máscara e rabo"*, mas *"podem ser aproveitados para consumo direto, de acordo com os hábitos regionais, tradicionais ou de países importadores, pulmões, baço, medula espinhal, glândula mamária, testículos, lábios, bochechas, cartilagens e outros a serem definidos em normas complementares"*. Esses coprodutos podem corresponder de 30 a 56% do peso vivo dos animais, dependendo da espécie (Marti; Johnson, 2012; Toldrá et al., 2016).

Figura 1 – Fluxograma do abate de suínos.



Fonte: Autoria própria com base na Portaria nº 711, de 1º de novembro de 1995 e Portaria nº 365, de 16 de julho de 2021, ambas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

2.2 Produtos e coprodutos de origem animal

Atrás apenas da carne de aves, a carne suína vem tendo sua produção e consumo significativamente aumentados em todo o mundo (FAO, 2020). A produção global de carne suína atingiu 115.215 milhões de toneladas em 2023, com o Brasil ocupando a quarta posição no *ranking* de produtores dessa proteína animal, atrás

apenas da China, que lidera a lista e é responsável por produzir 49% da carne suína mundial, União Europeia e Estados Unidos (ABPA, 2024). No Brasil, a produção de carne suína aumentou consideravelmente (chegando a pouco mais de 5,15 milhões de toneladas em 2023), assim como o consumo, que registrou 18,3 kg por habitante em 2023, um crescimento considerável quando comparado aos 14,5 kg por habitante registrados em 2013 (ABPA, 2024).

A carne suína é um dos tipos de carnes tradicionais e relativamente sustentáveis para consumo humano (Djekic et al., 2020). Seu recente aumento de consumo pela população se deve em parte à melhoria das condições sanitárias e nutricionais na criação dos animais, mas principalmente por uma melhor divulgação e acesso a informações, com uma maior conscientização sobre qualidade e os benefícios nutricionais dessa carne (Machado et al., 2014). Além disso, há uma crescente conscientização dos consumidores em relação ao bem-estar animal, fazendo com que busquem alimentos provenientes de sistemas de produção que respeitem os animais em todas as etapas da cadeia produtiva, ao mesmo tempo em que reduzem o impacto ambiental (Moletto, 2005; Vandresen; Hötze, 2021).

Na cadeia produtiva da carne como um todo, os cortes nobres são retirados dos quatro quartos dos animais (Marti; Johnson, 2012), e apesar de não constituírem a maior parte da carcaça, possuem maior valorização e retorno financeiro à indústria. Os subprodutos e/ou coprodutos da carcaça como sangue, vísceras, conteúdo gastrointestinal, pelos, chifres, pele, penas, patas etc., representam uma parcela considerável do todo (Lynch et al., 2018), alcançando, dependendo da espécie, até 56% do peso vivo do animal (Marti; Johnson, 2012; Toldrá et al., 2016). Então, com a crescente demanda nutricional da população e a maior exigência do mercado por produção e consumo sustentáveis, o valor agregado a esses coprodutos está sofrendo alterações positivas, sendo a aplicação em produtos destinados à alimentação de animais de estimação uma alternativa que oferece perspectiva para pesquisas (Vernooij, 2012). Além disso, o aproveitamento de vísceras e miúdos contribui para a sustentabilidade ambiental e econômica na indústria da carne (Toldrá et al., 2012).

Assim, fontes de proteína nutritivas e acessíveis, como os coprodutos da cadeia produtiva da carne, são apresentadas com uma solução satisfatória e, por essa razão, tem-se estudado formas de aprimorar seu uso (Henchion et al., 2016). Nesse sentido,

vísceras e miúdos como rim, cérebro, língua e coração possuem proteínas de alta qualidade, além de boa fonte de vitaminas e minerais (Mullen; Álvarez, 2016; Biel et al., 2019), já sendo destinadas diretamente à alimentação humana (Anzani et al., 2020). Diversos coprodutos da indústria de carnes são amplamente utilizados tanto na indústria de alimentos quanto em outras áreas, como biomédica e farmacêutica. O sangue e o colágeno, por exemplo, possuem propriedades tecnológicas e funcionais que beneficiam a indústria alimentícia, atuando como emulsificantes, gelificantes e aumentando o valor nutricional dos produtos finais. Além disso, são fontes de peptídeos bioativos e outros compostos usados em vacinas, cosméticos, hemoderivados, entre outros (Gómez-Guillén et al., 2011; Jayathilakan et al., 2012; Mora et al., 2014; Mullen et al., 2017).

As proteínas desses e de outros coprodutos da cadeia produtiva da carne também conferem propriedades tecnológicas e funcionais a diversos alimentos, como influenciar a capacidade de retenção de água, viscosidade, gelificação, emulsificação e formação de espuma (Mullen et al., 2017), sendo que os avanços tecnológicos relacionados ao processamento da carne estão possibilitando melhor aproveitamento dessas vísceras e gerando oportunidades vantajosas à indústria da carne e ao consumidor (Henchion et al., 2016; Toldrá et al., 2012, 2016).

2.3 Pulmão suíno

O consumo de pulmões de animais abatidos é bastante comum em muitos países da Ásia, como China, Coreia e Japão, do Oriente Médio, como Egito e Turquia, além de países africanos e da América do Sul (Jayawardena et al., 2019). De acordo com o RIISPOA (2017), o pulmão suíno, a depender dos hábitos tradicionais, religiosos, regionais e/ou da exigência/pedido do país importador, pode ser destinado ao consumo humano. Ele é obtido na etapa de evisceração e eventração do animal (Figura 1), na qual são expostas as vísceras e dispostas em bandejas para a inspeção. Durante essa etapa, o pulmão é retirado da carcaça do animal já abatido e é submetido a inspeção visual para detectar possíveis lesões ou doenças que possam comprometer e/ou condenar a sua qualidade sanitária e, conseqüentemente, a sua segurança de alimentos (Santos et al., 2019). Vale ressaltar que a fiscalização da condição sanitária para a obtenção dos produtos e subprodutos de suínos é realizada por meio de serviços de inspeção federal (S.I.F.), estadual (S.I.E.) ou municipal

(S.I.M.), baseados em legislação específica, como o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) e a Portaria nº 711 de 01 de novembro de 1995 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1995; Brasil, 2017). Após a inspeção, o pulmão pode ser encaminhado para o processamento e venda ao consumidor final.

Embora aceito e utilizado em outros países, o pulmão é um órgão com baixa demanda de consumo humano no Brasil, especialmente em sua forma *in natura*, visto que causa rejeição ao consumidor devido a sua aparência estética, textura esponjosa e crença de possuir pouca ou nenhuma qualidade nutricional (Chávez-Jáuregui et al., 2003; Jayawardena et al., 2019). No entanto, estudos já demonstraram alto potencial de processamento dessa matéria-prima como ingrediente alimentar (Darine et al., 2010), além de valor nutricional, contendo proteínas (16,6 %), aminoácidos (15,07%), vitaminas (especialmente A e B5) e minerais (cálcio, potássio, fósforo, sódio, magnésio, ferro) (Seong et al., 2014). Logo, o pulmão é um dos coprodutos que contém quantidades relevantes de nutrientes e, portanto, pode ser consumido como um alimento nutritivo (Nollet; Toldrá, 2011) ou processado para produzir ingredientes valiosos para alimentos (Toldrá et al, 2012). Nesse sentido, sua não aceitação ao consumo humano, ainda que apresente vários atributos nutricionais, pode se mostrar uma oportunidade para outras aplicações como na produção de alimentos para animais de estimação.

Uma característica importante do pulmão suíno para seu uso na alimentação de pequenos animais está relacionada com o teor de ferro presente neste órgão. Esse elemento químico está presente no pulmão como ferro heme, que possui propriedades desejáveis como maior absorção no organismo e, ainda, proporciona absorção de ferro não-heme de outros alimentos (Devatkal et al., 2004; López; Martos, 2004). Além disso, o colágeno e as proteínas do tecido conjuntivo presentes no pulmão suíno devem ser considerados como componente fundamental no desenvolvimento de produto alimentar destinado aos animais de estimação, já que podem conferir a textura desejada ao produto: maior maciez em produtos úmidos ou consistência mais rígida em alimentos secos (Rivera et al., 2000).

Em questão da proporção que essa víscera representa no animal, Seong et al. (2012) avaliaram, em um lote de suínos de 6 meses e peso vivo entre 130 e 140 kg,

que a massa do pulmão estava entre 0,61 e 0,81 kg, cerca de 0,53% do peso vivo dos animais. Em outro estudo, foram identificados valores entre 1,08 kg e 2,16 kg de pulmão para os animais avaliados (Ockerman; Basu, 2004). Vários fatores interagem para determinar a qualidade e a fração mássica representada dos subprodutos animais comestíveis, como genótipo (raça), sexo, espécie animal, sistema de produção (confinamento ou sistema baseado em pastagem), condição fisiológica e de saúde do animal, idade, peso, manejo pós-morte e processamento (Florek et al., 2012).

Na literatura é possível encontrar outros estudos com pulmão, como nos trabalhos de Selmane et al. (2008) e Darine et al. (2010), que avaliaram concentrados proteicos de pulmão bovino e suíno, maximizando a extração de proteínas funcionais e sua aplicabilidade como emulsificante, gelificante e espumante em produtos alimentícios. Como resultados, obtiveram bom rendimento e funcionalidade adequada quando comparadas a emulsificantes comerciais. Posteriormente, a proteína de pulmão bovino também foi analisada na presença de goma xantana, experimento que evidenciou e reafirmou sua boa capacidade emulsificante quando comparada aos produtos emulsificantes comerciais (Darine et al., 2011). Outro estudo também demonstrou a composição e aplicação de proteína de pulmão bovino em produto alimentar, sendo que seu uso como ingrediente de massas frescas elevou o teor de proteína em 60% e de ferro em até cinco vezes (Jayawardena et al., 2019). Assim, pode-se observar através destes estudos que o teor proteico do pulmão possui potencial de aproveitamento na indústria cárnea, tornando o pulmão suíno também alvo de pesquisas para identificar e avaliar sua qualidade, aproveitamento e usabilidade como matéria-prima de alto valor agregado.

2.4 Secagem

Ao referir-se a produtos cárneos, bem como aos seus coprodutos, é indispensável a consideração feita quanto a sua conservação, qualidade e vida útil. A carne possui alta atividade de água e é rica em nutrientes, características que proporcionam condições ideais para a ação de microrganismos deteriorantes e patogênicos (Başlar et al., 2015). Para evitar prejuízos aos referidos produtos, deve-se aplicar diversos métodos de conservação, dentre os quais, destaca-se a secagem.

A secagem é, em princípio, uma operação unitária realizada a fim de remover/reduzir a água presente nos alimentos (McCabe; Smith, 2005).

Por meio da operação de secagem, em que ocorre a remoção de água, tem-se uma importante ferramenta na conservação de alimentos (Celestino, 2010). A secagem ou desidratação de alimentos, de forma geral, é definida como a aplicação de calor, sob condições controladas, com a finalidade de remover a maior parte da água presente no alimento, por meio da evaporação (Fellows, 2006). Quando um sólido úmido é exposto à secagem térmica, dois processos ocorrem simultaneamente: a transferência de calor (diferença entre as temperaturas da fonte de calor e a matéria-prima a ser seca) e de massa (a saída da água presente no alimento) (Mujumdar, 2007). A secagem pode ainda ser realizada por meio da sublimação da água do produto, utilizando-se a liofilização. Nesse caso, o produto é congelado e depois submetido a uma etapa de baixa pressão para que o gelo passe para o vapor.

Ao reduzir a atividade de água por meio da secagem é possível promover maior estabilidade do produto, evitando ou diminuindo a atividade microbiológica, aumentando a vida útil do mesmo e reduzindo a ação de fatores intrínsecos do alimento, como a atividade bioquímica (Petit et al., 2014). Ao desenvolver produtos *pet food* secos a partir de vísceras e utilizando processos de secagem que preservem a qualidade nutricional e evitem a degradação do produto, é possível valorizar os coprodutos e obter um produto de alto valor agregado. Isso traz benefícios como maior praticidade no armazenamento, conservação e administração por parte dos fornecedores e proprietários. Além disso, a utilização desses processos de secagem pode contribuir para reduzir as doenças gastrointestinais causadas por alimentos contaminados por microrganismos patogênicos. Dessa forma, é possível obter produtos *pet food* seguros e de qualidade superior (Rostami, 2017; Petit et al., 2014). Existem muitas configurações de equipamentos destinados à secagem, em especial secagem de alimentos. Neste trabalho será dado o foco para dois equipamentos, sendo eles a estufa de secagem convectiva e o *refractance window*.

2.4.1 Secagem convectiva

A secagem convectiva consiste na redução de água do sólido através da transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento usando ar

aquecido como meio secante. Nesse sentido, a fonte de calor é fornecida por uma corrente de ar quente, que transmite a energia térmica para o alimento. O fluxo de calor aumenta a temperatura do produto, e provoca a evaporação da água (Bezerra et al., 2015; García-Alvarado et al., 2014). Durante o processo de secagem, a umidade presente no produto é removida por meio de diferentes mecanismos. Na transferência de umidade por convecção, o vapor d'água se move da superfície do produto para o ar em contato com ele. A transferência de umidade de dentro do produto pode ocorrer por difusão, convecção ou capilaridade, dependendo das características do material e das condições de secagem (Fernando et al., 2011).

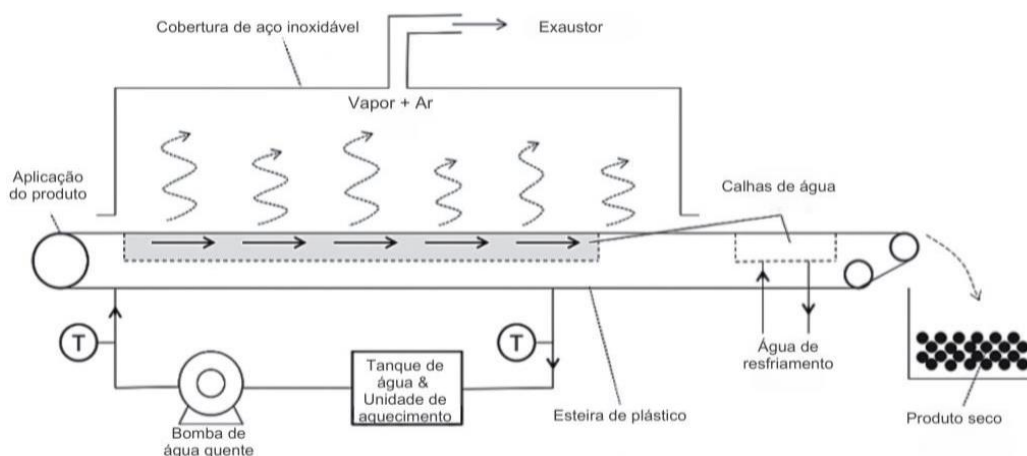
Jayawardena et al. (2019) realizaram a secagem convectiva de pulmões bovinos a 60 °C por 32 h, até atingir peso constante (equilíbrio dinâmico). Posteriormente, o material foi moído para obter um pó que foi incorporado em massas alimentícias. As massas com inclusão de 10% de pó de pulmão bovino obtiveram alteração na cor, mas também melhoraram em cinco vezes o teor de ferro e elevaram o seu teor de proteína em 60%. Em outro estudo, o pulmão bovino submetido a secagem convectiva foi avaliado quanto ao influência do binômio tempo-temperatura de secagem (1400 min a 50 °C, 655 min a 70 °C e 360 min a 100 °C) nas propriedades funcionais, estabilidade lipídica e proteica, além da quantidade de ferro heme do produto seco, constatando que a condição com menor temperatura (50 °C) garantiu segurança microbiológica, preservou melhor o ferro heme e maior manutenção lipídica e proteica ao armazenamento (Jayawardena et al, 2022).

Com as limitações da secagem convectiva, como altos períodos de secagem e custo-benefício, surgiu a necessidade em estudar, desenvolver e aprimorar de novas tecnologias de secagem nos últimos anos, bem como pré-tratamento e equipamentos (Dev; Raghavan, 2012; Mujumdar; Huang, 2007). As pesquisas evidenciaram a necessidade de métodos de secagem melhorados que preservem a qualidade do produto final enquanto utilizam a energia de forma eficiente (Moses et al., 2014). Portanto, ao selecionar um método de secagem, é crucial compreender as mudanças que o equipamento e condições terão na qualidade do produto seco final, tanto em comparação com o material *in natura* quanto os produtos secos obtidos através de métodos tradicionais.

2.4.2 Refractance window ou cast-tape drying

O *refractance window* (RW) (também denominado na literatura por *conductive thin-film drying* ou ainda *conductive hydro drying*) é um processo de secagem patenteado por Magoon (1986) e desenvolvido pela MCD Technologies Inc. (Tacoma, Washington, EUA), que consiste em acondicionar ou espalhar o alimento a ser seco sobre um filme de poliéster à radiação infravermelha (Abonyi et al., 2002). Durante a operação, enquanto na face superior desse filme encontra-se o alimento a ser seco, a face inferior é mantida em contato direto com o meio secante, geralmente água aquecida, como pode ser observado o esquema disposto na Figura 2 (Abonyi et al., 2002; Nindo et al., 2003). Esse método utiliza moderadas temperaturas (em comparação com outros métodos) e possui taxas de secagem elevadas capazes de garantir segurança microbiológica, pois nele estão presentes os três modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação (Ortiz-Jerez et al., 2015).

Figura 2 – Representação dos elementos do sistema Refractance window (RW).



Fonte: Adaptado de RAGHAVI et al., 2018.

Alguns estudos têm avaliado os efeitos dos diferentes mecanismos de troca térmica na secagem em RW. Ortiz-Jerez et al. (2015) constataram que durante o processo de secagem de polpa de abóbora por RW, 5% da energia utilizada no processo foi proveniente da transferência de calor por radiação da água aquecida através do filme polimérico. Também, Zotarelli et al. (2015) demonstraram que a radiação no sistema de secagem RW contribuiu com aproximadamente 3% do total de calor transmitido no processo e que o mecanismo primordial na troca térmica do equipamento é condutivo. Por isso, os pesquisadores concluíram que o processo de secagem por RW é majoritariamente governado pela transferência de calor por

condução, e sugeriram uma nova denominação para o método, que foi *cast-tape drying*. Sendo assim, o presente trabalho irá se referir a este método de secagem como *cast-tape drying*.

Durante o processo de *cast-tape drying*, a umidade do alimento é removida por meio da transferência de energia térmica por condução e convecção. A condução ocorre pela espessura do filme, ou seja, da superfície do filme em contato com a água ou vapor para a substância a ser seca. Entretanto, além da condução e da pequena parcela da radiação, o *cast-tape drying* conta também com uma contribuição convectiva. Assim, a convecção acontece na água que circula no equipamento e na superfície do material, ou seja, entre o material e o ar da vizinhança da superfície, podendo ser natural ou forçada (no último caso, quando se faz o uso de exaustores). Vale destacar que em relação a transferência de massa, a umidade do interior do material migra principalmente por mecanismos difusivos. A evaporação da água superficial ou interna no material é o resultado desse processo (Ortiz-Jerez et al., 2015; Rahman, 2007).

O *cast-tape drying* é uma tecnologia emergente que vem demonstrando ótimos resultados por proporcionar menor efeito degradativo aos nutrientes do produto e sua melhor retenção dos compostos aromáticos e pigmentares, essenciais para as características sensoriais e nutricionais dos alimentos (Mahanti et al., 2021). O uso do filme *Mylar*® usado no *cast-tape drying* possui baixa condutividade, proporcionando baixas taxas de transferências de calor da água aquecida para o material, reduzindo as chances de superaquecimento do produto (Karadbhajne et al., 2019).

Além disso, o resfriamento convectivo proporcionado pelo fluxo de ar sobre o material mantém a temperatura do produto relativamente baixa enquanto retira o ar úmido gerado pela evaporação da água do produto que está sendo submetido a secagem (Mahanti et al., 2021). Associando sua eficiência de secagem, taxa de transferência de calor e massa superiores, temperaturas de produto mais baixas, tempos de secagem menores, ampla gama de aplicações e a crescente demanda por alimentos seguros e de alta qualidade, o *cast-tape drying* vem tornando-se uma alternativa promissora às tecnologias de secagem convencionais (Baeghbali; Niakousari, 2018; Bernaert et al., 2019; Mahanti et al., 2021; Ortiz-Jerez et al., 2015).

Outro fator importante a ser considerado é que a tecnologia de *cast-tape drying* se destaca por sua eficiência energética e custos operacionais reduzidos. A secagem por *cast-tape drying* apresenta maior eficiência energética e custos mais baixos em comparação com a liofilização e a secagem por pulverização (Nindo et al., 2003; Baeghbali; Niakousari, 2015). Além disso, Nindo e Tang (2007) destacaram que, para a mesma capacidade de secagem, o equipamento de *cast-tape drying* requer 50 a 70% menos despesas de capital e consome 50% menos energia do que o processo de liofilização. Esses fatores fazem da *cast-tape drying* uma alternativa econômica e eficiente às tecnologias de secagem tradicionais.

2.5 Alimentos para animais de estimação

Além de atender a demanda da alimentação humana e demais setores, a cadeia produtiva da carne também é responsável por boa parte da proteína consumida pelos animais de estimação, carnívoros obrigatórios e facultativos, como gatos e cães. Os coprodutos da carne já são aplicados em produtos de baixo valor, como a fabricação de farinhas destinadas à produção de ração de animais (Selmane et al., 2008). Ao considerar as farinhas comumente utilizadas como fonte proteica na produção de alimentos completos secos (ração) para animais de estimação, é imprudente excluir condições e fatores que podem produzir efeitos indesejáveis aos produtos, principalmente em seu teor de proteína, como o transporte, o armazenamento e os tratamentos térmicos e mecânicos (Montegiove et al., 2022).

Além da alimentação completa dos animais de companhia, outros produtos alimentares desse setor são amplamente difundidos e devem ter sua importância considerada. Os produtos *pet food* mastigáveis são petiscos ou *snacks* que se tornaram uma tendência em todo o mundo, com propriedades específicas ou não, que auxiliam no bem-estar dos animais através da mastigação, redução do estresse, enriquecimento ambiental e que ainda aproximam os donos de seus *pets* (Coulthart, 2004; ABINPET, 2019).

Atualmente, os proprietários de animais de estimação estão cada vez mais considerando a origem desses produtos, buscando produtos orgânicos, naturais e/ou sustentáveis (Swanson et al., 2013). Com isso, o uso eficiente de coprodutos comestíveis de forma otimizada proporciona produtos de alto valor nutricional e,

também, uma evolução nos sistemas de produção, tornando-os mais sustentáveis, econômicos e viáveis (Kurt; Zorba, 2007), além de atraentes ao consumidor (Alao et al., 2017). Portanto, além de potencializar o uso de coprodutos da carne e diminuir o impacto ambiental dessa cadeia produtiva, esses produtos estão sendo estudados para promover também a nutrição, a saúde animal e atender à exigência dos proprietários por alimentos naturais e saudáveis (Mazon; Moura, 2017).

Fatores extremamente importantes como segmentação, humanização, praticidade da alimentação, saúde e bem-estar animal estão tornando-se cada vez mais requeridos pelos tutores de animais de companhia e devem ser considerados no momento de desenvolvimento de materiais e serviços para o setor *pet*. Produtos que atendam às necessidades específicas, promovam sensação de proximidade entre tutores e animal de estimação, proporcionam praticidade de administração e armazenamento e, principalmente, produtos que possuam funcionalidade na saúde e no bem-estar (distração, diversão, alívio do estresse) do animal tem despertado interesse e estão sendo buscados pelo mercado consumidor (Baroncello et al., 2020).

A nutrição é extremamente importante e vital para a manutenção da saúde e bem-estar dos animais (Aptekmann et al., 2013), sendo ainda impulsionada e diretamente influenciada pelas crenças e preferências do consumidor por produtos de alta qualidade e oriundos de fontes seguras, naturais e que promovam benefícios à saúde dos animais (Buff et al., 2014). Por isso, espera-se que o mercado *pet food* continue o seu desenvolvimento a um ritmo crescente e constante nos próximos anos, até mesmo em países em desenvolvimento (Palumbo et al., 2020).

No mercado há uma ampla gama de produtos industrializados destinados à nutrição dos animais de estimação e estes são formulados para atender às necessidades e níveis específicos de nutrientes (proteínas, gorduras, vitaminas e minerais), a fim de promover o sustento do organismo em todas as fases da vida do animal: crescimento, manutenção, gestação, lactação e, até mesmo, controle de patologias e/ou condições físicas específicas (Thompson, 2008; Zicker, 2008). Além de serem alimentos completos e adequados para cada fase de vida dos animais, também são considerados seguros, estáveis e fácil e prática administração (Zicker, 2008). Os produtos *pet food* mastigáveis são alimentos à base de subprodutos de origem animal, podendo conter ingredientes de origem vegetal, destinado

exclusivamente aos animais de estimação com objetivo de diversão ou agrado, produzidos por meio de processos manuais, cozimento ou desidratação, além de não possuírem legislação que regulamenta a proporção de nutrientes (ABINPET, 2017).

Para os alimentos nutricionais completos, existe uma legislação oficial que regulamenta a produção, a proporção de nutrientes dos alimentos destinados a uma determinada espécie animal e/ou estágio da vida e os ingredientes permitidos para sua elaboração, conforme estabelecido em Instrução Normativa n.º 9, de 9 de julho de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e pela *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO). Esses requisitos são baseados em porcentagens mínimas e máximas de proteínas, gorduras e umidade, e variam de acordo com a vida do animal de estimação (por exemplo, crescimento, manutenção ou gestação/lactação) (AAFCO, 2016).

Para um *pet food* seco para cães adultos saudáveis, as diretrizes da AAFCO (2016) são de que a composição nutricional de alimentos completos seja de pelo menos 18% de proteína e 5% de gordura, com um máximo de 10% de umidade. O teor de cinzas e carboidratos não é especificado pela AAFCO, mas é geralmente recomendado que o teor de carboidratos não ultrapasse 50%. Enquanto para gatos adultos saudáveis, as diretrizes da AAFCO recomendam que a composição nutricional seja de pelo menos 26% de proteína e 9% de gordura, com um máximo de 10% de umidade. Novamente, o teor de cinzas e carboidratos não é especificado pela AAFCO, mas é geralmente recomendado que o teor de carboidratos não ultrapasse 50%.

Os gatos são animais estritamente carnívoros e, para atender suas exigências nutricionais específicas, uma quantidade maior de proteína bruta oriunda de tecido animal é necessária (Plantinga et al., 2011). Os cães possuem algumas semelhanças com os gatos, como a ausência de amilase salivar e trato gastrointestinal relativamente curto (NRC, 2006). Porém, não se sabe como isso ocorreu, os cães passaram a ter mais semelhanças com o homem, visto que algumas particularidades digestivas e metabólicas demonstradas através de seleção natural o classificou como onívoro, como maior digestibilidade do amido e absorção de glicose (Axelsson et al., 2013; Bosch et al., 2015).

Com o crescimento exponencial do setor de *pet food* a cada ano, surgem constantemente novos estudos sobre ingredientes, processos e matérias-primas.

Essas pesquisas promovem mudanças na lista de ingredientes e compostos permitidos para a elaboração desses alimentos, conforme definido pelos órgãos reguladores. Esses acréscimos são realizados desde que a segurança e/ou os benefícios do ingrediente sejam justificados e comprovados (Palumbo et al., 2020).

2.6 Propriedades físico-químicas e nutricionais dos produtos *pet food* secos

Para que os produtos oriundos da secagem possam ser utilizados como ingredientes em suplementos proteicos, é necessário realizar uma caracterização abrangente e avaliar a sua estabilidade de armazenamento, além da sua qualidade nutricional e funcional, como destacado por Jayawardena et al. (2022). Dessa forma, é fundamental compreender a relação entre o método de secagem empregado e as propriedades do produto resultante, a fim de garantir a qualidade e a eficácia do produto final.

As proteínas são essenciais na nutrição humana e animal, fundamentais para a manutenção, recuperação e sobrevivência do organismo, preservando tecidos, fornecendo aminoácidos e participando de várias funções fisiológicas (Weijs et al., 2014). A recuperação e aplicação de proteínas extraídas de coprodutos têm sido foco de pesquisas para aumentar seu valor agregado (Darine et al., 2011). Na dieta animal, as proteínas mantêm o equilíbrio de nitrogênio e promovem a saúde, fornecendo aminoácidos essenciais para funções imunológicas, suporte muscular e reparação dos tecidos (NRC, 2006). Cães necessitam de 52,1 a 45 g de proteína por 1.000 kcal de energia metabolizável para manter o equilíbrio de nitrogênio, com uma necessidade energética diária de 95 a 110 kcal/kg^{0,75} (ABINPET, 2019). Gatos, sendo estritamente carnívoros, necessitam de 83,3 a 62,5 g de proteína por 1.000 kcal de energia metabolizável, com uma necessidade energética de 75 a 100 kcal/kg^{0,67} (NRC, 2006; ABINPET, 2018). As necessidades energéticas dos animais não são diretamente proporcionais ao peso corporal; por isso, utiliza-se uma potência específica para expressar a demanda metabólica. Para cães, a necessidade metabólica é calculada elevando-se o peso corporal à potência de 0,75. Já para gatos, a potência utilizada é de 0,67 (FEDIAF, 2017).

A gordura fornece energia, auxilia no transporte de vitaminas e deve ser consumida em quantidade adequada para evitar problemas como doenças

cardiovasculares (Bray et al., 2004). Em cães e gatos, a gordura aumenta a palatabilidade dos alimentos, melhora a textura, fornece energia e auxilia na absorção de vitaminas lipossolúveis (Bauer, 2006). Cães necessitam de 13,75 g de gordura por 1.000 kcal de energia metabolizável, enquanto gatos necessitam de 22,5 g por 1.000 kcal devido à sua dificuldade em digerir amido (NRC, 2006; ABINPET, 2018).

As cinzas representam o conteúdo mineral dos alimentos, formado por micro e macronutrientes essenciais à manutenção do organismo, como cálcio, fósforo, potássio e magnésio (Florek et al., 2012). A composição mineral dos tecidos é afetada pela dieta, hormônios, idade, função do tecido e sexo (Littledike et al., 1995).

A quantidade de pigmento heme presente em produtos cárneos está diretamente relacionada com o teor de ferro heme, e se reflete na intensidade da cor no alimento. Esses fatores são extremamente importantes por dois motivos: a aceitação visual do consumidor, neste caso, o proprietário, e a qualidade nutricional do alimento. O teor de ferro encontrado nos pulmões é predominantemente do tipo heme, que é altamente absorvível pelo organismo e, ainda, pode melhorar a absorção de ferro não-heme presente em outros alimentos. Portanto, a presença de pigmento heme em alimentos de origem animal é importante não apenas para a aparência, mas também para a saúde e nutrição (Devatkal et al., 2004; López; Martos, 2004). A absorção do ferro heme presente em alimentos de origem animal ocorre de forma rápida e eficiente, independentemente da composição e formulação da dieta. Por outro lado, o ferro não-heme é amplamente indisponível e sua absorção é afetada pelos ingredientes presentes na alimentação (Smith, 1997).

Além disso, o ferro heme também pode proporcionar benefícios significativos ao trato gastrointestinal, com potencial uso prebiótico para animais de estimação. Estudos demonstraram que a suplementação de heme pode melhorar o metabolismo respiratório em bactérias anaeróbicas, aumentando a produção de energia e beneficiando a saúde intestinal. Em cães, a adição de ferro heme na dieta feita através de petisco formulado com 0,2% de proteínas heme mostrou remodelar a microbiota intestinal, aumentando e enriquecendo a diversidade de bactérias benéficas ao trato gastrointestinal, além de reduzir a presença de bactérias associadas a doenças intestinais (Kim et al., 2021; Lee et al., 2023).

Outro ponto importante é a textura dos produtos secos obtidos a partir de matérias-primas animais. Esta propriedade é diretamente influenciada pelo método de secagem utilizado e pela presença de colágeno e outras proteínas do tecido conjuntivo na matéria-prima. Dependendo desses fatores, a textura pode variar de flexível e borrachosa a rígida e crocante. É importante considerar esses aspectos durante o processo de produção, a fim de obter produtos com a textura desejada para atender às preferências e necessidades dos *pets* (Rivera et al., 2000).

A isoterma de sorção de umidade é uma informação importante na indústria de alimentos, uma vez que permite prever as possíveis alterações que podem ocorrer nos produtos em função da capacidade de adsorção de umidade. A partir de seu conhecimento, é possível selecionar os melhores métodos de armazenamento e materiais de embalagem, visando prolongar a vida útil dos produtos e manter suas características sensoriais e nutricionais (Basu et al., 2006). Dessa forma, a isoterma de sorção de umidade é uma ferramenta de interesse para garantir a qualidade e segurança alimentar dos produtos, além de ser uma relevante aliada no desenvolvimento de novos alimentos e processos na indústria alimentícia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação da matéria-prima

Pulmões suínos frescos oriundos de abatedouro local da cidade de Patos de Minas - MG, Brasil, foram obtidos em condições higiênico-sanitárias adequadas. Após inspeção sanitária veterinária, as amostras foram acondicionadas em embalagem de polietileno da empresa em questão e, posteriormente, em caixas térmicas para transporte refrigerado até os laboratórios da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas.

Os coprodutos (Figura 3 (a)) foram então devidamente limpos pela retirada de estruturas adjacentes (traqueia, fáscia, gorduras visíveis, esôfago, tecido conjuntivo). Alguns testes preliminares foram realizados a fim de efetuar o fatiamento da matéria-prima, procedimento que se mostrou complexo e de difícil realização nas espessuras previamente estabelecidas (3 mm, 4 mm e 5 mm). Diante desta dificuldade, a matéria-prima foi submetida a um processo de redução de tamanho (Figura 3 (b)) em moedor elétrico industrial para ser submetida aos processos de secagem e modelagem na forma de pasta, para o desenvolvimento do produto alimentar de interesse. Assim, a moagem foi realizada em moedor de carnes profissional com diâmetro de 4,5 mm do disco de corte (Becker, modelo MBI-22, Brasil), acondicionados em sacos de polietileno transparente com fechamento hermético e submetidos ao congelamento em *ultrafreezer* (Indrel, modelo IULT 335D/368, Brasil) e temperatura de -58,5 °C. Na Figura 3 estão apresentadas fotografias do pulmão suíno inteiro (a) e após a moagem (b).

A caracterização físico-química da matéria-prima foi realizada com a amostra fresca e respeitando os procedimentos descritos a seguir. Para realizar os processos de secagem (em estufa convectiva e em *cast-tape drying*), as amostras congeladas foram previamente submetidas a descongelamento lento em refrigerador a 4 °C por 12 h.

Figura 3 – (a) Pulmão suíno íntegro, antes da retirada das estruturas adjacentes e (b) pulmão suíno após procedimento de redução de tamanho (moagem)



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2024).

3.2 Caracterização da matéria-prima

3.2.1 Composição centesimal

3.2.1.1 Proteínas

A determinação do teor de proteína foi realizada pelo método de Kjeldahl da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC), AOAC Métodos 4500-Norg C e 4500-NH3 C, (AOAC, 2012), sendo primeiro estabelecido o teor de nitrogênio nas amostras e, subsequentemente, o mesmo convertido em teor de proteína. A análise de nitrogênio foi realizada em três passos: digestão, destilação e titulação, conforme descrito a seguir.

Com o auxílio de uma balança analítica (Shimadzu, modelo AUW320, Brasil), 2 g de amostra foram adicionados ao tubo de digestão e acrescidos de mistura catalítica e de ácido sulfúrico p.a. Em seguida, o tubo foi colocado em bloco digestor e a temperatura elevada aos poucos até atingir 400 °C, permitindo, nessa condição, a digestão por mais 30 min, quando a mistura ficou límpida e transparente. Depois, retirou-se o tubo do sistema de aquecimento e adicionou-se água destilada.

O tubo contendo a amostra digerida foi acoplado ao destilador de nitrogênio e, na sequência, à amostra foi adicionada solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 50%.

Logo após, o receptor de destilador de nitrogênio foi acoplado em um erlenmeyer e, assim, foi adicionado no recipiente ácido bórico a 4% para, então, a mistura ser conduzida à destilação. Após a destilação, realizou-se a titulação da amostra com indicador de nitrogênio (ácido clorídrico 0,1 M), sendo que a determinação do nitrogênio total e de proteína foram feitos, respectivamente, utilizando as Equações 1 e 2:

$$\% \text{ nitrogênio total} = \frac{V \cdot N \cdot f \cdot 0,014 \cdot 100}{m} \quad (1)$$

$$\% \text{ peptídeos} = \% \text{ nitrogênio total} \cdot F \quad (2)$$

Em que, V é o volume [mL] da solução de ácido clorídrico 0,1 M gasto na titulação após a correção do branco; N é a normalidade teórica da solução de ácido clorídrico 0,1M; f é o fator de correção da solução de ácido clorídrico 0,1 M; m é a massa [g] da amostra; e, F é o fator de conversão da relação nitrogênio/proteína (cujo valor é 6,25).

3.2.1.2 Gordura

Utilizou-se o método de extração em Soxhlet (AOAC, 2012). Assim, foi pesado 2 g de amostra em balança analítica (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil), e essa massa foi adicionada a um cartucho de papel. No extrator de Soxhlet, a extração do composto de interesse foi realizada por 5 h com o solvente (éter de petróleo p.a.) em ebulição e velocidade de condensação de 2 a 4 gotas/s. Na sequência, o solvente foi recuperado no balão previamente seco e o mesmo submetido a secagem em estufa a 105 °C pelo período de 1 h.

Por fim, o balão foi resfriado em dessecador até temperatura ambiente e posterior pesagem. O teor de gordura foi obtido a partir da Equação 3:

$$\% \text{ gordura} = \frac{A-B}{P} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que, A é a massa [g] do balão + massa seca; B é a massa [g] do balão vazio; e, P é a massa [g] da amostra inicial.

3.2.1.3 Umidade

Para a determinação da umidade, aproximadamente 5 g de pulmão suíno foram submetidos à secagem em estufa (Ethik, Marca: NE, Modelo:420-7) a 105 °C até peso constante, conforme o método AOAC 2007.04 (AOAC, 2012).

Primeiramente, cápsulas de alumínio foram aquecidas em estufa a 105 °C por 1 h e resfriadas em um dessecador, até atingirem a temperatura ambiente. Em balança analítica, essas cápsulas vazias foram devidamente pesadas e, depois, acrescidas de aproximadamente 5 g da amostra (todos os valores foram registrados individualmente para precisão). Em seguida, as cápsulas contendo a amostra foram submetidas à estufa a 105 °C por 24 h e resfriadas em dessecador até temperatura ambiente. Então, suas massas foram medidas em balança analítica (Shimadzu, AUW320, Brasil). A umidade (b.u.) do referido coproduto foi calculada de acordo com a Equação 4:

$$\% \text{ umidade} = \frac{m - m_{ss}}{m} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que, U é umidade da amostra em base úmida [%], m é a massa úmida da amostra (massa de água + massa de sólidos secos) [g], mss é a massa de sólidos secos [g].

3.2.1.4 Cinzas

As cinzas totais foram determinadas ao colocar cerca de 5 g da amostra de pulmão suíno em forno mufla a 600 °C até obter cinzas de acordo com o método AOAC 942.05 (AOAC, 2012). Um cadinho de porcelana foi previamente aquecido em forno mufla a 600 °C por 30 min e, após resfriamento do utensílio em dessecador, ele foi pesado em uma balança analítica e acrescido de 5 g da amostra. Então, o cadinho contendo a amostra foi submetido ao forno mufla a 600 °C até a obtenção de cinzas, resfriado em dessecador e pesado, resultando em um peso final. A quantidade de cinzas da amostra foi calculada de acordo com a Equação 5:

$$\% \text{ Cz} = \frac{m - m_f}{m} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que, C_z é cinzas da amostra [%], m é a massa inicial da amostra [g], m_f é a massa final [g].

3.3 Métodos de secagem

A obtenção do pulmão suíno seco foi investigada por meio de dois métodos distintos: secagem em estufa convectiva e secagem por *cast-tape drying*, cujas metodologias realizadas estão detalhadas na sequência.

3.3.1 Secagem em estufa convectiva

O processo de secagem em estufa convectiva foi realizado utilizando estufa convectiva (Ethik, Marca: NE, Modelo:420-7), com temperatura máxima de 200 °C, medidas internas de 1 m x 0,7 m (largura x profundidade), 3 bandejas internas e capacidade de 630 L, com renovação e circulação de ar.

Após a moagem do pulmão suíno, a pasta obtida (Figura 3 (b)) foi espalhada sobre uma superfície/placa polimérica transparente (filme *Mylar*®, Dupont Teijin Films, USA), de 0,25 mm de espessura, obtendo uma camada do material a ser seco. O espalhamento da pasta triturada foi realizado com auxílio de molduras retangulares de acrílico com dimensões de 340 mm (comprimento) x 100 mm (largura) e espessura variando de acordo com o tamanho definido para o estudo de secagem, isto é, 3, 4 e 5 mm.

Após o espalhamento da matéria-prima *in natura* sobre a placa (filme) de polímero (Figura 4 (a) e (b)), o conjunto foi levado à estufa com circulação de ar (meio secante) previamente aquecida, sendo disposto em uma bandeja deste secador convectivo. A temperatura variou segundo as condições experimentais que foram determinadas para o estudo de secagem, isto é, 70, 80 e 90 °C. Para cada condição estudada (incluindo as repetições), a massa de pasta de pulmão espalhada dentro da moldura foi fixada, sendo determinada a partir do volume ocupado numa dada espessura e da densidade *bulk* da víscera moída. O tempo final de secagem, para cada condição avaliada, foi definido a partir do estudo dos dados da cinética de secagem.

Figura 4 – Matéria-prima preparada (a) para secagem convectiva em estufa (b).



Fonte: Autoria própria (2024).

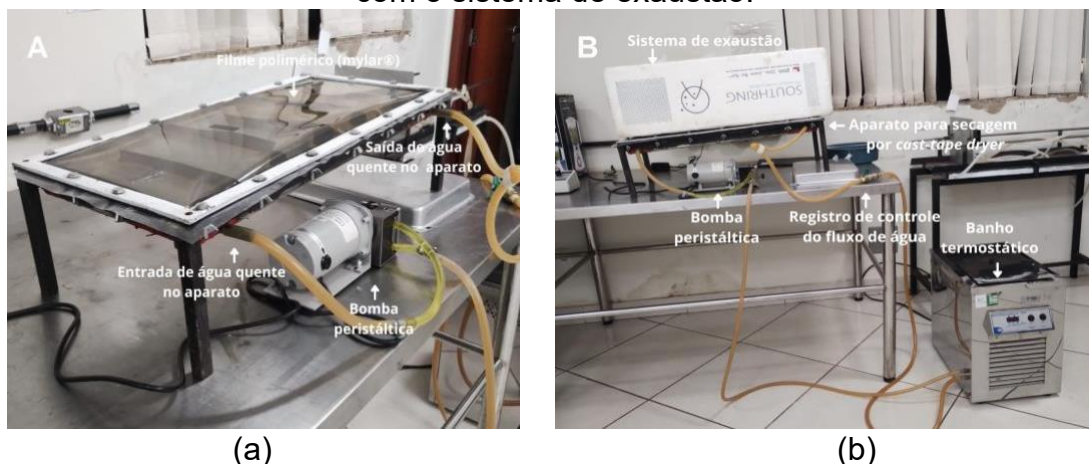
Para realização da cinética de secagem, por método não destrutivo, em cada condição estudada, as placas contendo as amostras analisadas foram retiradas da estufa para medida de massa em balança semi-analítica (Shimadzu, BL320H, Brasil) da seguinte forma: em intervalos de 10 min durante 1 h; em intervalos de 20 min nas 2 h subsequentes; em intervalos de 30 min nas 3 h subsequentes; e, em intervalos de 40 min nas 4 h seguintes. Então, após a conclusão de 10 h de secagem (tempo definido de acordo com pré-testes), as placas contendo a amostra foram levadas à estufa, por 24 h em temperatura igual a 105 °C, para a determinação umidade do produto final conforme metodologia AOAC (2012) descrita no item 3.2.1.3.

3.3.2 Secagem em *cast-tape drying*

Para realização da secagem por *cast-tape drying*, foi utilizado um aparato experimental que opera em batelada. O secador utilizado era composto de uma bandeja de aço inoxidável com dimensões 70 cm × 30 cm × 5 cm, onde circulava a água quente (fonte de calor), proveniente de um banho termostático (SOLAB, SL 152/18, Brasil) associado a uma bomba peristáltica (Cole-Parmer, Masterflex L/S 77250-62, USA). O filme polimérico (*Mylar*® tipo "D" - Dupont, USA), de 0,25 mm de espessura, foi fixado no topo da bandeja de forma que a face inferior ficava em contato com a água quente circulante e a face superior servia de suporte para a pasta de pulmão suíno que foi seco. Um sistema de exaustão foi acoplado ao equipamento, sendo constituído por uma caixa de poliestireno expandido (isopor) com seis ventiladores instalados de forma que três estivessem deslocando ar externo para

dentro do equipamento, e três retirando o ar interno para o ambiente externo. Dessa maneira, esse sistema propiciou o escoamento forçado do ar sobre a camada de pasta de material sendo seco, evitando a formação de uma camada estagnada e saturada de ar durante a secagem. Na Figura 5 (a) e (b) estão mostradas fotografias e um esquema do processo de secagem por *cast-tape drying* utilizado.

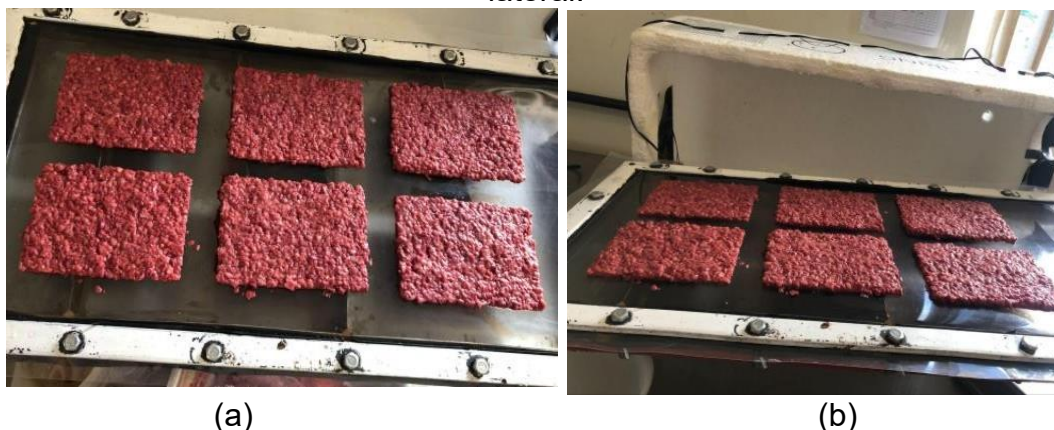
Figura 5 – a) Aparato para realização da secagem por *cast-tape drying* e b) aparato com o sistema de exaustão.



Fonte: Autoria própria (2024).

Quando a água circulante atingia a temperatura estabelecida (70, 80 ou 90 °C, a depender da condição executada), a amostra (pasta triturada) era espalhada sobre a face superior do filme *mylar®* com auxílio das molduras retangulares de acrílico para nivelamento da espessura (mesmo procedimento utilizado para o espalhamento na estufa e descrito no item 3.3.1) Na Figura 6 estão apresentadas as fotografias das amostras espalhadas no *cast-tape drying*.

Figura 6 – Pulmão suíno moído disposto em aparato para realização da secagem em *cast-tape drying*, duas placas de cada uma das três espessuras determinadas (3, 4 e 5 mm, respectivamente da esquerda para a direita): a) vista superior e b) vista lateral.



Fonte: Autoria própria (2024).

A cinética de secagem do pulmão suíno moído foi determinada, por método destrutivo, por meio da retirada de amostras, em triplicata, de pontos distintos no interior da pasta espalhada sobre o filme *Mylar*®, de forma a evitar efeito de borda. Para cada amostragem, a massa de amostra retirada e acondicionada em cadinhos previamente secos em estufa e o peso foi medido em balança analítica (Shimadzu, AUW320, Brasil) e a umidade foi determinada conforme metodologia AOAC (2012) descrita no item 3.2.1.3. Foram utilizados cadinhos de alumínio previamente secos em estufa a 105 °C por 30 min, dispostos em dessecador para resfriamento a temperatura ambiente e obtenção das medidas de massas.

Para realização da cinética, retirou-se uma pequena quantidade (em torno de 0,611 g) de amostra do material sendo seco em intervalos pré-estabelecidos de tempo, depositados em cadinhos e, na sequência, pesados. A amostragem por tempo foi realizada em triplicata e os tempos pré-determinados foram: intervalos de 10 min durante 1 h; intervalos de 20 min nas 2 h subsequentes; intervalos de 30 min nas 3 h subsequentes; intervalos de 40 min nas 4 h seguintes. Desta forma, após a conclusão das 10 h de secagem (tempo definido de acordo com pré-testes), determinou-se a umidade das amostras, conforme metodologia descrita no item 3.2.1.3.

3.4 Caracterização do pulmão suíno seco

3.4.1 Composição centesimal

A análise da composição centesimal (umidade, proteínas, gordura e cinzas) do produto seco proveniente em determinadas condições do planejamento (70 °C e 5 mm, ou seja, menor temperatura e maior espessura; 90 °C e 3 mm, isto é, maior temperatura e menor espessura; e, na combinação de condição intermediária de temperatura e espessura, ou seja, 80 °C e 4 mm) de ambos os métodos de secagem (*cast-tape drying* e secagem convectiva) foi avaliado de acordo com os métodos descritos e validados pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012), cujas metodologias estão descritas no Item 3.2.1.

3.4.2 Determinação da cor

A cor instrumental foi avaliada por refletância com colorímetro digital (CR400 – Minolta Company, Japão), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As medidas de coloração foram expressas em termos da luminosidade L^* ($L^*=0$ preto e $L^*=100$ branco), e da cromaticidade definida por a^* (+60 a^* =vermelho e -60 a^* =verde) e b^* (+60 b^* =amarelo e -60 b^* =azul).

Além dos parâmetros L^* , a^* e b^* , foram calculados os parâmetros de cor instrumental diferença global de cor (ΔE), cromaticidade ou saturação (C^*) e ângulo de hue (relacionado a tonalidade) (h°), de acordo com as Equações 6, 7 e 8 (8.1, 8.2, 8.3 e 8.4), respectivamente.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (6)$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (7)$$

$$\begin{cases} h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right), \text{ para } a^* > 0 \text{ e } b^* > 0 \\ h^\circ = 180 + \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right), \text{ para } a^* < 0 \text{ e } b^* > 0 \\ h^\circ = 270 + \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right), \text{ para } a^* < 0 \text{ e } b^* < 0 \\ h^\circ = 360 + \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right), \text{ para } a^* > 0 \text{ e } b^* < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Os valores de a_0^* , b_0^* , e L_0^* são obtidos a partir do material *in natura*.

3.4.3 Quantificação de pigmentos heme totais e ferro heme

Para a quantificação de pigmentos heme totais, foi utilizado o método de Horsey adaptado (RAMOS; GOMIDE, 2017). Para isso, a solução de extração (acetona ácida) foi preparada para o pulmão suíno *in natura*, nas seguintes proporções: 8,48 mL de acetona P.A., 0,31 mL de água destilada e 0,21 mL de ácido clorídrico P.A. (9 mL de solução de extração para cada amostra). Os componentes da solução foram adicionados em béquer de vidro e, após homogeneização com bastão de vidro, a solução foi transferida para frasco âmbar vedado com tampa e armazenado a 4 °C em refrigerador. Para as amostras de pulmão seco, foram calculados os seguintes volumes: 7,33mL de acetona P.A., 1,49 mL de água destilada e 0,18 mL de ácido clorídrico P.A. (totalizando 9 mL de solução de extração para cada amostra).

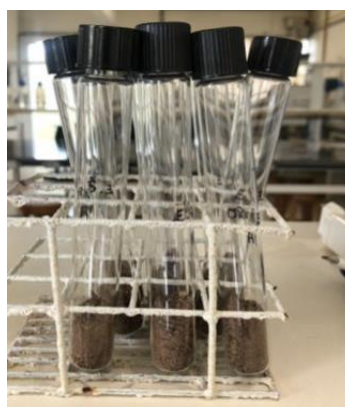
Para a análise, o pulmão seco foi levemente triturado utilizando-se de um gral e pistilo (Figura 7 (a)), ambos de porcelana, para facilitar a homogeneização da amostra e da solução de extração. Posteriormente, 2 g de amostra do pulmão, tanto em sua forma *in natura* quanto seco em suas respectivas condições, foram pesados em balança analítica e adicionados em tubo de ensaio com tampa (Figura 7 (b)) juntamente com solução de extração de acetona ácida. Após misturar os componentes com um bastão de vidro, o tubo foi fechado, agitado suavemente, colocado em estante para tubos de ensaio e mantido em temperatura ambiente por 1 h e ao abrigo de luz.

Passado o período determinado na metodologia, o extrato foi filtrado em funil de vidro com papel filtro quantitativo e coletado em béquer de vidro de 50 mL (Figura 7 (c)). Para as amostras de pulmão suíno seco, foi pipetado 1 mL do filtrado que foi colocado em balão volumétrico de 25 mL (Figura 7 (d)). O balão volumétrico contendo o filtrado teve então seu volume completado com a solução de extração e homogeneizado suavemente. Esse procedimento foi realizado em virtude da obtenção de um filtrado extremamente escuro que não conseguia ser lido pelo espectrofotômetro. Vale reportar que esse procedimento não foi necessário realizar com as amostras *in natura*.

Figura 7 – a) Amostra de pulmão suíno seco triturado em gral e pistilo de cerâmica; b) amostra de pulmão suíno seco pesado em tubos de ensaio com tampa; c) extrato filtrado em funil de vidro com papel filtro quantitativo; d) extrato do filtrado nos balões volumétricos.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida, o filtrado foi transferido para uma cubeta de vidro e a absorbância foi medida através de leitura com espectrofotômetro de leitura a 640 nm contra o branco (solução de extração). A quantificação de pigmentos heme (C_p) foi expressa em mg de pigmentos heme totais/g de amostra e o ferro heme (HFe) foi expresso em μg de ferro heme/g de amostra, ambos após a determinação da concentração de hematina ácida (C_h) em μg de hematina/g de amostra a partir das Equações 9, 10 e 11.

$$C_h = \frac{A}{\epsilon \cdot b} \cdot \frac{V_d}{P_a} \cdot PM \quad (9)$$

$$C_p = 0,026 \cdot C_h \quad (10)$$

$$\text{HFe} = 0,0882 \cdot C_h \quad (11)$$

Em que, A é a absorbância a 640 nm; ϵ é a coeficiente de extinção milimolar ($\text{cm}^2/\mu\text{mol}$) da hematina ácida; b é a largura da cubeta em cm; c é a concentração ($\mu\text{mol/mL}$); PM é o peso molecular da hematina ácida (652); V_d é o volume total de diluição (mL); P_a é o peso da amostra (2 g). C_h é a concentração de hematina ácida (μg de hematina/g de amostra); C_p é a concentração de pigmentos heme totais (mg de pigmentos heme totais/g de amostra); e, 0,0882 é o fator de conversão de hematina ácida em ferro heme.

3.4.4 Textura instrumental

Para caracterizar as amostras desidratadas de pulmão suíno quanto às suas propriedades mecânicas, realizou-se o teste de punção com um analisador de textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) equipado com uma carga de 50 kg, na qual foi acoplada uma sonda cilíndrica de aço inox de 2 mm de diâmetro. A sonda desceu a 5 mm·s⁻¹, perfurando a amostra até 70% da espessura inicial, conforme adaptado de Zotarelli et al., (2012). Para tal, as placas de pulmão suíno seco foram cortadas em quadrados de aproximadamente 5 cm x 5 cm.

Um total de 6 perfurações foram realizadas para cada condição do experimento (temperatura x espessura x método de secagem). Os picos de forças de compressão (F) em N, e o tempo correspondente (t) em min (Figura 8) foram registrados pelo software Exponent versão 4.0.13.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra).

Figura 8 – Pulmão suíno moído seco em estufa convectiva sendo submetido a análise de textura instrumental.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir do pico máximo, foi expressa a força máxima necessária para a probe penetrar nas amostras, e expressa na forma de dureza (N).

3.4.5 Isotermas de sorção de umidade

Para a obtenção da isotermas de sorção foi utilizado o método gravimétrico estático descrito por Greenspan (1977). Desta forma, oito soluções salinas saturadas

foram preparadas: LiCl (cloreto de lítio), CH₃COOK (acetato de potássio), K₂CO₃ (carbonato de potássio), Mg(NO₃)₂ (nitrato de magnésio), KI (iodeto de potássio), NaCl (cloreto de sódio), KCl (cloreto de potássio) e BaCl₂ (cloreto de bário) a fim de fornecerem valores de umidade relativa de 11,3%, 22,6%, 43,2%, 52,9%, 68,9%, 75,3%, 84,3% e 90,2%, respectivamente. As soluções foram acondicionadas em recipientes herméticos juntamente com 1 g de amostra e submetidas a temperatura de 25 °C, para cada valor de umidade relativa desejada. Em balança analítica (Shimadzu, AUW320), as amostras foram pesadas em intervalos regulares de tempo até obter-se peso constante. Após atingirem peso constante, a umidade foi determinada gravimetricamente em estufa convectiva a 105 °C, conforme item 3.2.1.3.

A partir dos dados experimentais, para prever o comportamento da isoterma de sorção de umidade (comportamento higroscópico), foram testados os ajustes de modelos matemáticos: Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) e Brunauer, Emmett e Teller (BET) (1938), conforme as Equações 12 e 13, respectivamente.

$$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot K a_w)}{(1 - K a_w)(1 - K a_w - C \cdot K a_w)} \quad (12)$$

$$X_{eq} = \frac{(X_m \cdot C \cdot a_w) \cdot [1 - (n-1) \cdot a_w^n + n \cdot a_w^{(n+1)}]}{(1 - a_w) \cdot [1 + (C-1) \cdot a_w - C \cdot a_w^{(n+1)}]} \quad (13)$$

Em que, X_{eq} é a umidade de equilíbrio [kg/kg]; X_m é a umidade na monocamada molecular [kg/kg]; a_w é a atividade de água; C , n e K são constantes das equações.

A estimativa dos parâmetros dos modelos foi realizada por regressão não linear utilizando-se a ferramenta de otimização Solver® do Microsoft Excel®.

3.4.6 Higroscopicidade

A higroscopicidade do produto seco foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. Colocou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em cadinhos metálicos previamente secos e tarados em estufa convectiva a 105 °C. Em seguida, os conjuntos de cadinho mais amostra foram colocados em recipiente hermético (dessecador) contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C e, após um período de permanência de 7 dias nessas condições, as amostras foram pesadas em balança

analítica e a higroscopicidade foi expressa em g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g) e calculada conforme a Equação 14, sendo que nesta Equação, a massa seca da amostra (M_{ss}) é calculada por meio de balanço de massa, conforme a Equação 15.

$$H = \frac{M_{ads}}{M_{ss}} \cdot 100 \quad (14)$$

Em que: H representa a higroscopicidade (g de umidade adsorvida.100⁻¹ de massa seca); M_{ads} é a massa de umidade adsorvida (g) e M_{ss} é a massa de sólidos secos (g).

$$H = [M_s - (M_s \cdot X_{bu})] \quad (15)$$

Em que M_{ss} é a massa de sólidos secos (g), M_s é a massa de sólido úmido (massa de água + massa de sólido seco) (g) e X_{bu} é a umidade em base úmida (g água. g⁻¹ de massa total da amostra).

3.4.7 Atividade de água

A atividade de água foi avaliada através de leitura direta em analisador da Marca Aqualab, modelo PRE CAP, conforme orientado em seu manual de instruções (Figura 9).

Figura 9 – Pulmão suíno moído seco por *cast-tape drying* sendo submetido a análise de atividade de água.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.4.8 Planejamento experimental

Para a execução dos experimentos de secagem do pulmão suíno, para cada método de secagem estudado (secagem convectiva em estufa e *cast-tape drying*) foi realizado um planejamento experimental do tipo planejamento fatorial a três níveis com dois fatores (3^2) com duas réplicas no ponto central. Assim, foi possível quantificar os efeitos de dois fatores envolvidos nos processos, isto é, espessura de espalhamento de uma camada da pasta de pulmão suíno moído e a temperatura da fonte de calor (ar aquecido na secagem convectiva e água quente no *cast-tape drying*) sobre as variáveis resposta, que foram: tempo de secagem, atividade de água, higroscopicidade, pigmentos heme totais, dureza e cor instrumental (parâmetros L^* , a^* , b^* , ΔE , C^* e h°). Então, a partir da aplicação desses dois planejamentos 3^2 , foi obtido um terceiro planejamento fatorial, neste caso, um planejamento fatorial a dois níveis com três fatores (2^3), acrescentando além das duas variáveis investigadas nos planejamentos 3^2 , uma terceira variável independente, almejando analisar também o efeito do método de secagem utilizado. Para este planejamento 2^3 não foram realizados novos experimentos, apenas utilizou-se os resultados dos planejamentos a três níveis.

Na Tabela 1 são apresentados os fatores e os níveis avaliados dos planejamentos fatoriais 3^2 e 2^3 executados. Na Tabela 2 é apresentada a matriz dos planejamentos fatoriais 3^2 executados para os dois métodos de secagem, com duas réplicas no ponto central. Enquanto na Tabela 3 é mostrado a matriz do planejamento fatorial 2^3 analisado.

Tabela 1 - Fatores e níveis dos planejamentos 3^2 e 2^3 .

Fator	Planejamento				
	2^3		3^2		
	-1	+1	-1	0	+1
Temperatura do meio secante (°C) (X_1)	70	90	70	80	90
Espessura da camada a ser seca (mm) (X_2)	3	5	3	4	5
Método de secagem (X_3)	<i>cast-tape drying</i>	Secagem convectiva	*	*	*

* não se aplica ao planejamento.

Tabela 2 - Planejamento fatorial 3².

Experimento	Variável Codificada		Variável Real	
	X ₁	X ₂	Temperatura (°C)	Espessura (mm)
1	-1	-1	70	3
2	-1	0	70	4
3	-1	+1	70	5
4	0	-1	80	3
5	0	0	80	4
6	0	+1	80	5
7	+1	-1	90	3
8	+1	0	90	4
9	+1	+1	90	5
10	0	0	80	4
11	0	0	80	4

Tabela 3 - Planejamento fatorial 2³.

Exp.	Variável Codificada			Variável Real		
	X ₁	X ₂	X ₃	Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Método de secagem
1	-1	-1	-1	70	3	<i>Cast-tape drying</i>
2	-1	0	-1	90	3	<i>Cast-tape drying</i>
3	-1	+1	-1	70	5	<i>Cast-tape drying</i>
4	0	-1	-1	90	5	<i>Cast-tape drying</i>
5	0	0	+1	70	3	Secagem convectiva
6	0	+1	+1	90	3	Secagem convectiva
7	+1	-1	+1	70	5	Secagem convectiva
8	+1	0	+1	90	5	Secagem convectiva

Os resultados experimentais de caracterização do pulmão suíno seco foram analisados estatisticamente por regressão múltipla a um nível de significância de 10% ($p \leq 0,10$) na estimativa dos efeitos (planejamento 2³) e dos coeficientes do modelo (planejamentos 3²). A determinação dos efeitos/coeficientes significativos da regressão foi realizada por meio de um teste de hipóteses utilizando um teste t de *Student*. Os coeficientes da equação de regressão foram obtidos pelo método de mínimos quadrados. A correlação foi feita estatisticamente por meio do coeficiente de determinação (R^2) com teste de hipóteses usando a distribuição *F-Fisher* com um nível de significância de 1%, e pela análise dos resíduos.

Desta forma, a análise estatística realizada para cada um dos 3 planejamentos fatoriais investigados permitiu quantificar os efeitos relacionados a cada variável

independente (temperatura da fonte de calor e espessura de espalhamento da amostra para os planejamentos fatoriais a três níveis, e além destas, o método de secagem no planejamento fatorial a dois níveis) nas variáveis respostas analisadas. Para o planejamento fatorial a dois níveis foram quantificados os efeitos (o valor do efeito é o dobro do valor do coeficiente da regressão) relacionados às variáveis independentes de forma isolada (efeitos principais), assim como os efeitos de interação entre as variáveis. Já para os planejamentos a três níveis, além dos efeitos principais e de interação entre os fatores, foram determinados os efeitos referentes aos termos quadráticos. Então, a partir das regressões múltiplas para os planejamentos 3^2 foram obtidas equações empíricas (superfícies de respostas) para melhor visualizar o efeito das variáveis independentes nas variáveis respostas. Os resíduos das regressões foram distribuídos de forma independente e aleatória de acordo com uma distribuição normal com média zero e variância constante.

As variáveis independentes avaliadas foram adimensionalizadas, conforme mostrado nas Equações 16 e 17. Estas variáveis são X_1 para temperatura (T) ($^{\circ}\text{C}$) e X_2 para espessura (E) (mm).

$$X_1 = \frac{T [^{\circ}\text{C}] - 80}{10} \quad (16)$$

$$X_2 = E[\text{mm}] - 4 \quad (17)$$

Conforme descrito, a partir dos experimentos realizados de acordo com a metodologia de planejamento fatorial de experimentos (Box et al., 2005) foi possível obter equações empíricas para representar as respostas em função dos fatores investigados. A Equação 18 apresenta a forma da superfície ajustada da resposta estudada em função das variáveis de interesse por meio da metodologia de superfície de resposta (Myers, 1976), sendo que b são os coeficientes a serem estimados.

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} x_i x_j \quad i < j \quad (18)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria-prima

4.1.1 Composição centesimal do pulmão suíno

A composição centesimal (proteínas, gordura, umidade e cinzas) do pulmão suíno está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição centesimal do pulmão suíno *in natura*.

Parâmetro	Valor
Umidade (%)	83,51 ± 2,68
Proteína (%)	12,56 ± 1,94
Gordura (%)	1,70 ± 0,74
Cinzas (%)	0,98 ± 0,17

A determinação de umidade do produto cárneo é importante uma vez que interfere na sua estabilidade físico-química, microbiológica e sensorial, além das etapas de armazenamento e processamento, estando diretamente relacionada à atividade de água e segurança microbiológica. Neste estudo, foi encontrado um valor de 83,51% nas amostras de pulmão suíno, enquanto os obtidos de Seong et al. (2014) resultaram em uma média de 78,71% para essa mesma víscera suína. Para outros coprodutos, esses mesmos autores verificaram valores de 75,87%, 71,59%, 77,63%, 82,48%, 69,73% e 78,58% para coração, fígado, estômago, intestino delgado, intestino grosso e baço, respectivamente.

Em outra investigação da literatura que caracterizou a umidade de vísceras, Selmane et al. (2008), obtiveram para pulmão bovino 78,5% de umidade e 79,3% de umidade para pulmão suíno, valor próximo ao observado no trabalho de Seong et al. (2014), sendo ambos um pouco menores do que o resultado do presente estudo. Para os músculos suínos, houve uma média de 78,43% de umidade encontrada pelos pesquisadores. De acordo com o Manual *Pet Food* da ABINPET (2019), as vísceras suínas destinadas à produção de alimentos secos para alimentação completa e balanceada dos animais devem conter, no máximo, 87% de umidade. Logo, o valor encontrado neste estudo, encontra-se dentro da faixa recomendada.

As proteínas são importantes para a nutrição humana, pois são essenciais para manter os tecidos vivos e participar de funções fisiológicas (Weijs et al., 2014).

Pesquisas buscam aumentar o valor agregado dos coprodutos por meio da recuperação e uso de proteínas como ingrediente funcional e tecnológico em produtos alimentícios e peptídeos bioativos (Darine et al., 2011).

A análise de quantificação do teor de proteína do pulmão suíno resultou em um valor médio de 12,56%. Esse resultado foi próximo àqueles verificados na literatura, sendo que as diferenças podem ser justificadas por fatores como a raça, sexo, espécie animal, sistema de produção (confinamento ou pastagem), condição fisiológica e de saúde do animal, idade, peso, manejo ante e post-mortem e processamento (Florek et al., 2012). De acordo com estudos da literatura, esse resultado de 12,56% de proteína no pulmão indica o potencial de desenvolvimento de alimentos proteicos ou da adição desse produto como ingrediente e fonte de proteína animal em diferentes produtos (Selmane et al., 2008; Darine et al., 2010; Darine et al., 2011; Jayawardena et al., 2019).

Seong et al. (2014) avaliaram a caracterização de diferentes coprodutos da carne suína e encontraram valores de proteína para o coração de 17,62%, para o fígado de 22,05%, para o pulmão de 16,6%, para o estômago de 17,07%, para o intestino delgado de 11,99%, para o intestino grosso de 8,45% e para o baço de 17,79%. Em outro estudo disponível na literatura, os autores avaliaram a composição proteica de três matérias-primas e foram encontrados 14,4% de proteína nos pulmões suínos, 13,8% em pulmões bovinos e 9,1% na carne de frango mecanicamente separada (Selmane et al., 2008).

Em um estudo que avaliou nutricionalmente 21 musculaturas de carcaça suínas, Kim et al. (2008) apresentaram uma média de 19,39% de proteína nos tecidos avaliados. De acordo com esses autores, dentre esses músculos, o supraespinhal (um dos que compõem a paleta na carcaça suína) resultou em 18,51% de proteína, enquanto o músculo *Longissimus dorsi* (lombo suíno) apresentou 21,79% desse mesmo nutriente. Ou seja, o pulmão, apesar de apresentar menor quantidade de proteína que as carnes mais nobres da carcaça desse animal, ainda se caracteriza como boa fonte de proteína para possíveis usos tecnológicos e funcionais. Além disso, como exigência do mercado para que as vísceras suínas sejam utilizadas como matéria-prima para alimentos completos do setor *pet food*, esses coprodutos devem conter pelo menos 13% de proteínas (ABINPET, 2019). Ou seja, o valor encontrado

para a proteína está próximo ao exigido para matéria-prima de origem suína destinada à produção de alimentos secos de manutenção, considerando que o destino seja a produção de um produto mastigável.

O teor de gordura encontrado nas amostras de pulmão suíno foi de 1,7%, o que mostra correspondência com a quantidade identificada por outros pesquisadores (Seong et al., 2014) que obtiveram um teor de gordura de 1,79% para o pulmão suíno. Esses autores reportaram ainda valores de teores de gordura de 4,55% para o coração, 2,94% para o fígado, 4,05% para o estômago, 1,16% para o intestino delgado, 19,54% para o intestino grosso e 0,97% para o baço. Vale destacar que as matérias-primas destinadas à confecção de alimentos secos completos para *pets* devem conter pelo menos 1% de gordura (ABINPET, 2019), o que condiz com os valores encontrados neste trabalho.

Assim como variações de resultados foram observadas para proteínas, é possível verificar também o mesmo para a gordura, quando se compara os resultados deste estudo e da literatura. No trabalho de Kim et al. (2008), o valor médio de gordura encontrado nos músculos de suínos avaliados foi de 4,19%. Enquanto Selmane et al. (2008) encontraram um valor de 2,9% de gordura para pulmão de frango, portanto, maior em relação ao pulmão suíno observado neste presente trabalho. Essas variações podem ser oriundas de diversas razões, diferença de animal (comparando suíno com frango), manejo do animal, diferença de tecido/órgão (comparando pulmão suíno com músculo suíno), idade, raça, espécie, sexo etc. Contudo, a confrontação com esses dados da literatura mostra coerência nos resultados.

Neste estudo foi encontrado um percentual de 0,98% de cinzas nas amostras de pulmão suíno, sendo que essa característica se refere ao resíduo inorgânico (conteúdo mineral), contendo micro e macronutrientes importantes. Seong et al. (2014) em investigação das características de pulmão suíno, obtiveram 0,76% de cinzas, valor numericamente um pouco menor quando comparado ao encontrado neste trabalho. Nesse mesmo estudo científico os pesquisadores mencionaram teores de cinzas para outras partes/carnes do suíno, sendo que o coração apresentou valor de 0,81%, o fígado 1,34%, o baço de 1,12%, o estômago 0,31%, intestino delgado 0,3% e o intestino grosso 0,15%.

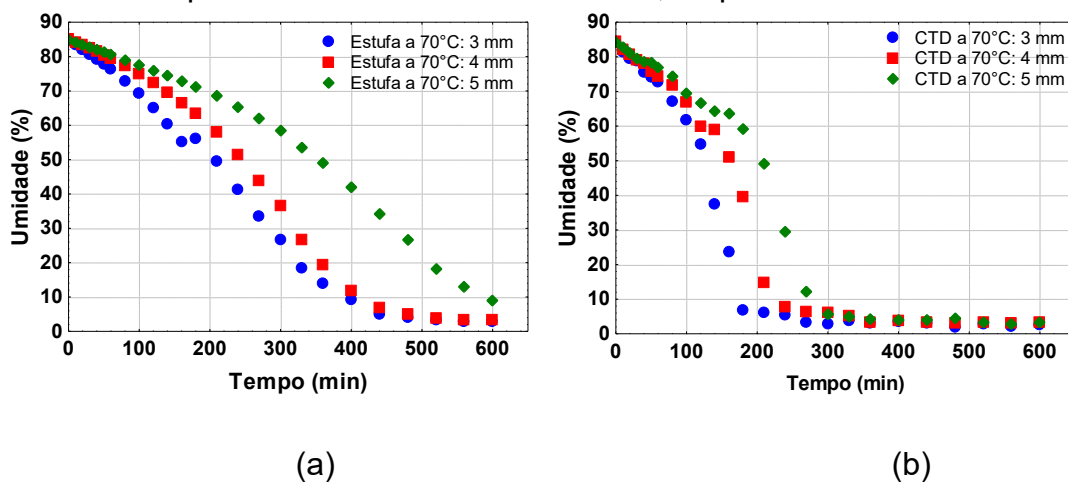
Outra comparação possível ocorre com os tecidos musculares avaliados por Kim et al. (2008), no qual os autores determinaram a média de teor de cinzas em 0,98%, valor bem próximo do encontrado por esta pesquisa. Para serem usados na elaboração de alimentos completos secos para pets, as vísceras devem conter no máximo 1% de cinzas em sua composição centesimal (ABINPET, 2019), validando o valor encontrado neste estudo.

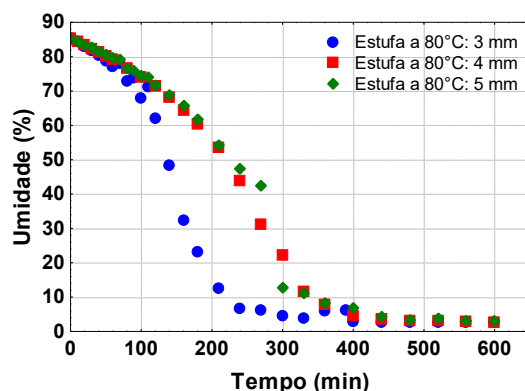
4.2 Secagem convectiva em estufa e *cast-tape drying*

4.2.1 Cinética de secagem

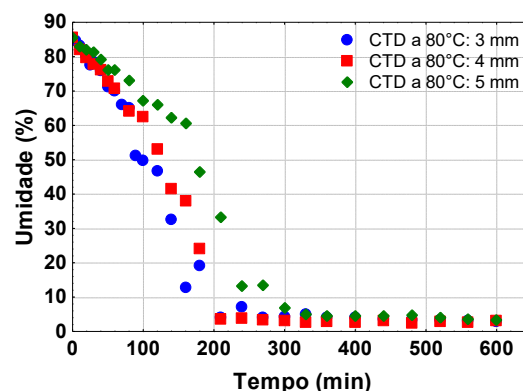
A evolução temporal da umidade das amostras de pulmão suíno em diferentes condições de processo na secagem em estufa de circulação convectiva e no *cast-tape drying* estão apresentadas na Figura 10.

Figura 10 – Curvas de cinética de secagem do pulmão suíno nas espessuras de 3, 4 e 5 mm para: (a) e (b) temperatura de 70 °C na estufa convectiva e *cast-tape drying*, respectivamente; (c) e (d) temperatura de 80 °C na estufa convectiva e *cast-tape drying*, respectivamente; (e) e (f) na temperatura de 90 °C na estufa convectiva e *cast-tape drying*; (g) e (h), para estufa convectiva e *cast-tape drying* a 70 e 90 °C e espessura da amostra de 3 e 5 mm, respectivamente.

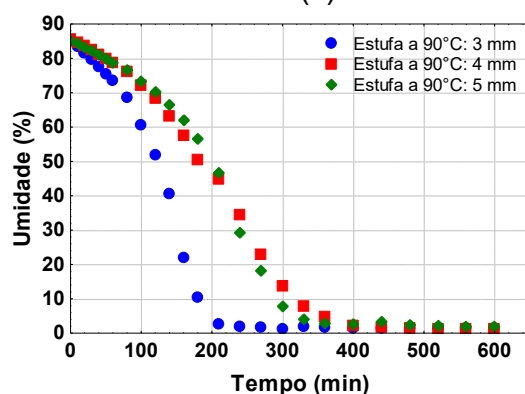




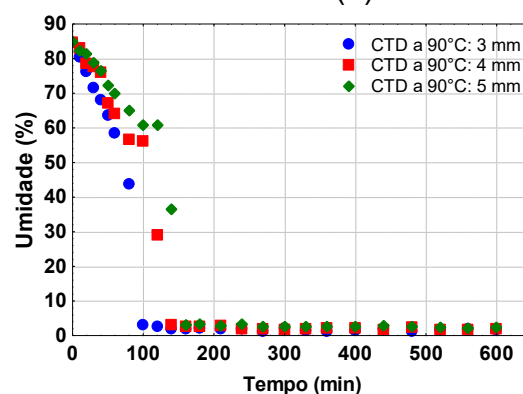
(c)



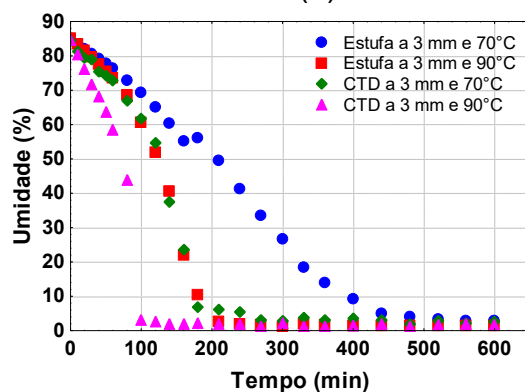
(d)



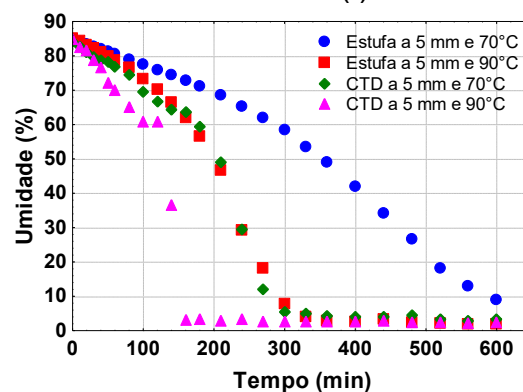
(e)



(f)



(g)



(h)

O tempo de secagem necessário para cada uma das condições aplicadas, foi definido com base no tempo para atingir valores de umidade em torno de 10%. Segundo a literatura, umidade inferior a 10% são ideias para a estabilidade de alimentos cárneos (AAFCO, 2016).

Para os dois métodos, a menor espessura de espalhamento (3 mm), combinada com a maior temperatura (90 °C) foi a condição que conduziu ao menor tempo de secagem, aproximadamente 120 e 210 min, para a *cast-tape drying* e secagem convectiva, respectivamente, para atingir umidade em torno de 10%. Por

outro lado, a secagem por *cast-tape drying* na espessura de 5 mm associada às temperaturas de 70 e 80 °C, foram as condições mais lentas, necessitando de 330 min de operação para alcançar a umidade desejada. Para a secagem na estufa convectiva a combinação de 70 °C com 5 mm de espessura da amostra, conduziu a um tempo de 600 min. Secagens mais longas conduzem a um maior tempo de exposição do produto ao calor, o que pode afetar significativamente suas propriedades, e a um maior consumo energético do processo.

Diante do exposto em relação ao tempo de secagem nas diferentes condições, vale destacar que a análise das Figuras 9 (g) e (h) mostrou que para amostras secas com 3 mm de espessura, a secagem em *cast-tape drying* a 70 °C apresentou tempo semelhante ao da amostra seca em estufa convectiva a 90 °C. Resultado semelhante foi observado para a amostra com 5 mm de espessura secas a 90 °C na estufa de circulação convectiva e a 70 °C por *cast-tape drying*. Considerando o planejamento fatorial a dois níveis (2^3), na Tabela 5 são apresentados os valores dos efeitos dos fatores obtidos para o tempo de secagem, sendo X_1 temperatura, X_2 espessura da camada de pulmão suíno e X_3 o método de secagem.

Nota-se que as três variáveis afetaram de forma significativa no tempo de secagem e somente pelos efeitos principais, sendo que o maior efeito foi do fator temperatura. O valor negativo deste efeito principal revela a tendência de redução do tempo de secagem com a elevação da temperatura. Já o sinal positivo para o efeito principal da espessura indica que o aumento da menor para a maior espessura resultou em uma secagem com duração mais longa. Por fim, o sinal positivo do para o efeito do método de secagem mostra que quando se mudou da operação no *cast-tape drying* para a estufa o tempo de secagem aumentou.

Tabela 5 - Efeitos significativos para o tempo de secagem.

Fator	Tempo de secagem	
	Efeito	p-valor
Média	321,25	0,0000
X_1	-192,50	0,0016
X_2	142,50	0,0048
X_3	127,50	0,0071
X_1X_2	-	-
X_1X_3	-	-
$X_2 X_3$	-	-
R²	0,9668	

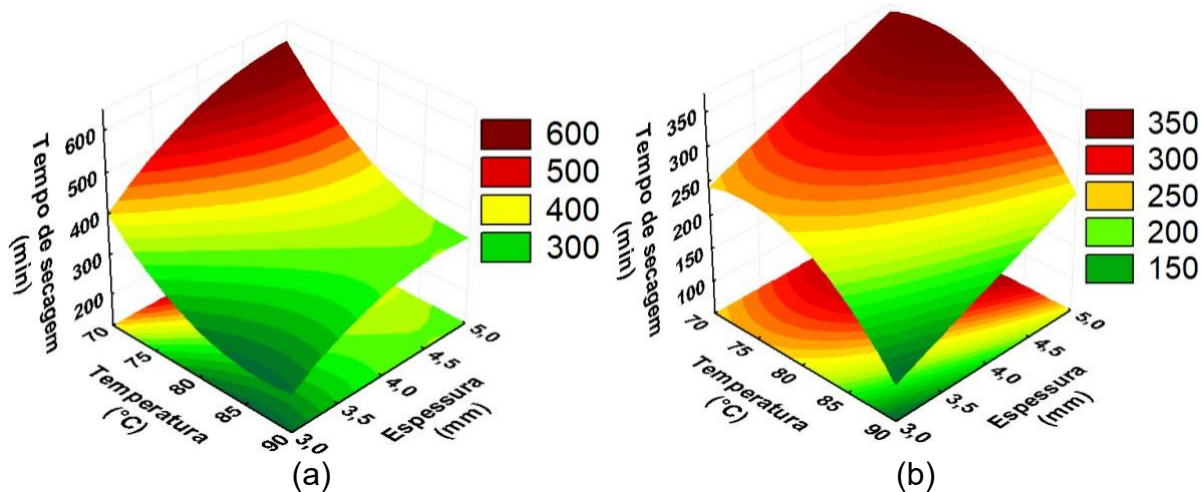
(-) efeito com p-valor maior que 0,1.

Considerando os planejamentos fatoriais a três níveis, as equações empíricas, obtida por regressão múltipla, para representar a variação do tempo de secagem em função das variáveis independentes estudadas são apresentadas nas Equações 19 e 20, respectivamente, para secagem convectiva em estufa e *cast-tape drying*. Neste trabalho foi utilizado a designação $\hat{z}_i$ para representar resposta estimada para secagem em estufa convectiva e $\hat{y}_i$ para representar resposta estimada para secagem em *cast-tape drying*. O coeficiente de determinação (R^2) de regressão obtido foi de 0,9983 e 0,9344 para secagem convectiva e *cast-tape drying*, respectivamente. Para melhor visualizar os efeitos dos fatores representados por esta equação de regressão, a superfície de resposta com os parâmetros significativos (considerando um nível de significância de 10%) é mostrada na Figura 11.

$$\hat{z}_1 = 361,86 - 112,86X_1 + 80,00X_2 + 71,43X_1^2 - 20X_2^2 \quad (19)$$

$$\hat{y} = 294,00 - 68,33X_1 + 61,67X_2 - 59,00X_1^2 \quad (20)$$

Figura 11 - Superfície de resposta para o tempo de secagem em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada: (a) para estufa convectiva, (b) para *cast-tape drying*.



Conforme verificado na Equação 19, os dois fatores investigados apresentaram efeito significativo no tempo de secagem, sendo que a temperatura foi a variável que afetou de forma mais intensa. Confirmando o resultado observado na cinética, as superfícies de resposta mostradas na Figura 10 indicam tanto para a secagem convectiva em estufa quanto na secagem condutiva por *cast-tape drying*, que a secagem foi mais curta pela combinação de um nível mais alto de temperatura com um nível inferior de espessura, sendo que a operação foi mais demorada

associando níveis mais elevados de espessura com menores temperaturas. Nota-se ainda, que a operação foi mais longa usando a estufa.

Rostami et al. (2017) produziram carne bovina em pó utilizando o método de secagem por *cast-tape drying*, com o objetivo de avaliar o efeito da temperatura e da espessura na qualidade final do produto. Para isso, carne bovina com uma umidade inicial de 76% foi cortada em duas espessuras (2 e 3 mm) e seca a 80 e 100°C, alcançando umidades abaixo de 10%. Foram necessários 120 minutos para alcançar esse resultado a 100°C e 150 minutos a 80°C tanto para as fatias de 2 mm quanto para as de 3 mm. Enquanto neste trabalho, a carne moída de pulmão suíno espalhada na espessura de 3 mm a 90 °C alcançou a estabilidade de 10% com 120 e 210 min para o *cast-tape drying* e secagem em estufa convectiva, respectivamente.

Hernández-Santos et al. (2016), compararam o tempo de secagem e qualidade de rodela de cenoura (3 cm de diâmetro) quanto ao método de secagem (secagem convectiva e *cast-tape drying*), temperatura (74 e 94 °C) e espessura (2 e 4 mm). Nesse estudo em questão, eles relataram que o *cast-tape drying* a 94°C poderia diminuir o tempo de secagem em aproximadamente 45% em comparação com o método de secagem convectiva na mesma temperatura. Além disso, as amostras de cenoura seca *cast-tape drying* apresentaram maiores teores de polifenóis totais e atividades antioxidantes do que os secos por convecção, em cada temperatura ou espessura.

No estudo de Franco et al. (2019), maçãs, salmão e carne bovina cortados com 5 mm de espessura foram secos utilizando o método de *cast-tape drying* e uma estufa de circulação convectiva para avaliar a difusividade, tempo de processamento, cor e firmeza dos produtos finais secos. Para os cortes de carne bovina e salmão, não foram encontradas diferenças significativas no tempo de secagem entre os métodos avaliados. No entanto, para os cortes de maçã, observou-se uma redução de 50% no tempo de secagem utilizando o *cast-tape drying* em comparação com o método convencional. Em relação à qualidade dos produtos secos, o *cast-tape drying* reduziu as mudanças na cor e firmeza das maçãs, enquanto para o salmão, houve uma diminuição na firmeza. Para a carne bovina, observaram-se menores mudanças na cor.

A diferença nos resultados encontrados por Franco et al. (2019) e o presente estudo, pode estar relacionada ao pré-tratamento das amostras. Enquanto as amostras de carne e salmão no estudo de Franco et al. (2019) que não tiveram diferenças nos tempos de secagem entre os métodos convectivo e por *cast-tape drying* foram congeladas a -5 °C (congelamento lento), as amostras de pulmão suíno que houve redução no tempo de secagem quando comparados os métodos foram congeladas a -58 °C (congelamento rápido). Isso pode justificar uma possível desnaturação das proteínas induzida pela temperatura, modificando o ponto isoelétrico do tecido e causando o encolhimento das fibras musculares no método de congelamento lento, afetando sua capacidade de retenção de água (Delgado; Sun, 2002; Hughes et al., 2014; Vieira et al., 2009). Outro fator relevante é que a estrutura do produto pode influenciar na eficiência da secagem, considerando que a carne bovina e salmão foram fatiados, mantendo parcialmente a estrutura das fibras musculares e causando resistência à saída de água do tecido. Enquanto isso, o pulmão suíno foi moído em uma granulometria de aproximadamente 4,5 mm, aumentando a área de contato e facilitando a saída de água.

A secagem por convecção é frequentemente escolhida devido ao seu custo-benefício quando comparado com outros métodos (Chen et al., 2020). No entanto, esse método, que se baseia na convecção de calor (Sa-Adchom et al., 2011), pode dificultar a transferência de calor para o interior do material, resultando em longos tempos de secagem, o que provoca perda de nutrientes devido à desnaturação rápida das proteínas e à degradação de pigmentos e nutrientes sensíveis ao calor, resultando em qualidade indesejável do produto (Neill et al., 2022; Xu et al., 2019).

Os achados corroboram com os experimentos realizados neste estudo, em que a secagem em estufa convectiva foi mais longa em comparação com a secagem por *cast-tape drying*.

4.2.2 Caracterização do produto seco

4.2.2.1 Composição centesimal

A composição centesimal (proteínas, gordura, umidade e cinzas) do pulmão suíno moído seco nas condições de processo extremas e centrais avaliadas, como

menor temperatura e maior espessura (70 °C e 5 mm) e maior temperatura e menor espessura (90 °C e 3 mm) e temperatura e espessuras intermediárias (80 °C e 4 mm), tanto para a secagem convectiva quanto para *cast-tape drying* estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição centesimal do pulmão suíno moído seco.

Método de secagem	Temp. (°C)	Esp. (mm)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinzas (%)	Umidade (%)
Convectiva	70	5	69,56 ± 1,13	9,61 ± 0,67	7,84 ± 0,64	6,20 ± 0,11
Convectiva	80	4	69,77 ± 1,88	9,67 ± 0,07	8,69 ± 0,36	3,78 ± 0,28
Convectiva	90	3	70,11 ± 1,41	10,08 ± 0,82	7,93 ± 0,28	3,14 ± 0,12
<i>Cast-tape drying</i>	70	5	69,73 ± 0,44	9,34 ± 0,36	6,04 ± 0,33	3,16 ± 0,64
<i>Cast-tape drying</i>	80	4	70,65 ± 0,79	9,61 ± 0,09	6,26 ± 0,42	3,31 ± 0,23
<i>Cast-tape drying</i>	90	3	70,31 ± 1,35	9,36 ± 0,18	6,84 ± 0,47	5,64 ± 1,58

Para o pulmão suíno moído seco, os resultados de composição centesimal mostraram proteína variando entre 69,56% e 70,65%, gordura entre 9,34% e 10,08%, cinzas de 6,04% a 8,69%, e umidade de 3,14% a 6,20%. Esses resultados indicam que a composição do pulmão suíno seco permaneceu aproximadamente constante, com valores próximos, independentemente da condição de secagem avaliada, (espessura, temperatura e método de secagem). Em um estudo sobre liofilização de carne suína para a elaboração de um gel de emulsão, Lee et al. (2021) encontraram valores de 1,34% de umidade após o processo de secagem e 70,10% de proteína.

Comparando com a farinha de carne suína utilizada em alimentos extrusados para animais de estimação, que deve conter no mínimo 46% de proteína, 12% de gordura e máximo de 33% de cinzas (ABINPET, 2019), os pulmões suínos secos avaliados neste estudo mostraram-se superiores em termos de teor de proteína e cinzas, mas apresentaram níveis de gordura mais baixos. Em comparação com as amostras de farinha de carne e ossos suínos estudadas por Robert e Adryan (2014), que apresentaram 52,37% a 56,39% de proteína, 13,83% a 16,61% de gordura, 22,99% a 29,17% de cinzas e 1,49% a 3,59% de umidade, os pulmões suínos secos novamente apresentaram maior proporção de proteína, valores menores para gordura e um teor de umidade similar. A menor quantidade de cinzas nos pulmões suínos secos pode ser vantajosa para a produção de *snacks* mastigáveis, uma vez que altos níveis de cinzas podem influenciar negativamente a palatabilidade do produto.

O pó de pulmão bovino avaliado por Jayawardena et al. (2019) apresentou valores de 87% de proteína, 8,76% de gordura, 4,93% de cinzas e 6,6% de umidade,

resultados próximos aos obtidos para os pulmões suínos secos, especialmente em relação à gordura e umidade, embora o pó de pulmão bovino tenha superado em proteína e apresentado menor teor de cinzas. Em outra pesquisa de Jayawardena et al. (2022), que encontra um teor de proteína de 85% para pó de pulmão bovino seco, e segundo os autores esse macronutriente não foi afetado pelas temperaturas utilizadas na secagem convectiva dos experimentos (50, 70 e 100 °C), corroborando com os níveis semelhantes entre as diferentes condições e métodos de secagem desenvolvidos neste estudo.

No trabalho de Ozbekova et al. (2024) foram avaliados a secagem convectiva de carnes bovina e de iaque secas, e os resultados apresentados pelos autores foram de que os produtos secos apresentaram 81,85% e 79,3% de proteínas, gordura de 7,05% e 12,65%, e umidade de 6,52% e 5,68%, respectivamente para cada tipo de carne. Comparando os resultados do presente estudo com os dos autores, pode-se observar que o pulmão suíno seco tem um teor de proteína ligeiramente inferior, mas valores de umidade e gordura comparáveis. Além disso, esse comparativo é mais um indício de que o processo de secagem não altera significativamente a composição nutricional.

Os valores de umidade de 3,14% a 6,20% para o pulmão suíno seco também se alinham com os alimentos extrusados secos para cães e gatos, que apresentaram valores médios de umidade de 5,89% e 6,44%, respectivamente (Başer; Yalçın, 2017). A baixa umidade é crucial para a estabilidade do produto e para evitar a proliferação microbiana, tornando o produto comparável em qualidade a alimentos comerciais extrusados para pets.

Portanto, a obtenção de pulmão suíno seco pelo método utilizado neste estudo resultou em um produto com perfil nutricional potencialmente superior em vários aspectos à farinha de carne suína tradicional utilizada na alimentação animal e comparável a outros produtos desidratados, e até mesmo a alimentos extrusados. Isso confirma sua adequação como potencial *snack* mastigável de alta qualidade e valor agregado para animais de estimação.

4.2.2.2 Atividade de água

Na Tabela 7 são apresentados os resultados experimentais para atividade de água para o material *in natura* e para o produto seco nas diferentes condições estudadas, respectivamente, para a secagem convectiva e para *cast-tape drying*.

Tabela 7 – Resultados de atividade de água para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e por *cast-tape drying*.

		Atividade de Água	
Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Secagem convectiva	Cast-tape drying
Pulmão suíno <i>in natura</i>		0,992 ± 0,001	0,992 ± 0,001
70	3	0,258 ± 0,005	0,337 ± 0,005
70	4	0,271 ± 0,003	0,401 ± 0,028
70	5	0,365 ± 0,001	0,531 ± 0,051
80	3	0,149 ± 0,016	0,220 ± 0,026
80	4	0,149 ± 0,005	0,225 ± 0,041
80	5	0,139 ± 0,011	0,248 ± 0,012
90	3	0,193 ± 0,011	0,213 ± 0,025
90	4	0,117 ± 0,006	0,258 ± 0,040
90	5	0,133 ± 0,016	0,265 ± 0,115
80	4	0,205 ± 0,008	0,246 ± 0,012
80	4	0,198 ± 0,007	0,259 ± 0,010

A atividade de água é um parâmetro crítico na avaliação da qualidade e estabilidade microbiológica dos alimentos secos, incluindo produtos de origem animal como o pulmão suíno moído. No presente estudo, a atividade de água do pulmão suíno seco variou significativamente dependendo das condições de secagem. A atividade de água variou de 0,117 ± 0,006 (com a maior temperatura e a espessura intermediária) a 0,365 ± 0,001 (para a menor temperatura e a maior camada espalhada de pulmão) na secagem em estufa convectiva. Enquanto para o *cast-tape drying* os valores variaram de 0,213 ± 0,025 (com a maior temperatura e menor espessura) a 0,531 ± 0,051 (para a temperatura mais baixa e a camada mais espessa). Em geral, a atividade de água tendeu a ser menor no pulmão suíno seco na estufa e, também, a maioria dos experimentos, considerando os dois métodos, conduziram a valores de atividade de água menores que 0,4, níveis adequados para garantir estabilidade microbiológica do alimento seco.

Na Tabela 8, considerando o planejamento fatorial 2³, são apresentados os valores dos efeitos estimados dos fatores, obtidos para a atividade de água.

Tabela 8 - Efeitos significativos para atividade de água para o planejamento fatorial 2^3 .

Fator	Atividade de Água	
	Efeito	p-valor
Média	0,29	0,0009
X_1	-0,17	0,0097
X_2	0,07	0,0500
X_3	-0,10	0,0282
X_1X_2	-0,08	0,0453
X_1X_3	-	-
X_2X_3	-0,05	0,0999
R²	0,9668	

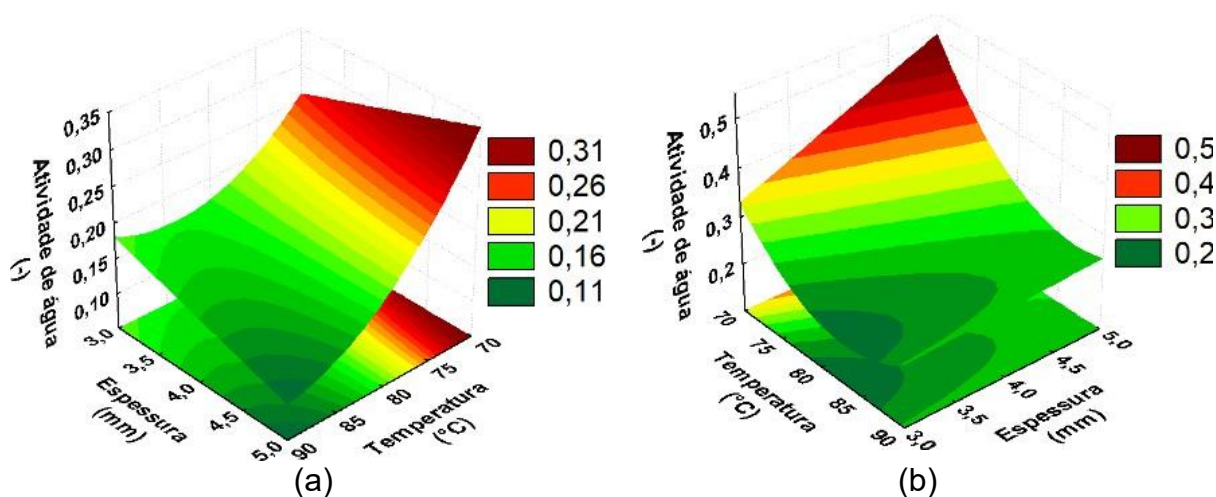
(-) efeito com p-valor maior que 0,1

As equações empíricas com os coeficientes significativos (considerando um nível de significância de 10%), obtidas a partir dos planejamentos fatoriais a três níveis, para representar a variação da atividade de água do produto seco são apresentadas nas Equações 21 e 22 para a secagem em estufa convectiva e *cast-tape drying*, respectivamente. Os coeficientes de determinação (R^2) para estas equações foram 0,8816 para a secagem em estufa e 0,9553 para a secagem em *cast-tape drying*. As superfícies de resposta representadas pelas Equações 21 e 22 são mostradas na Figura 12.

$$\hat{z}_2 = 0,17 - 0,08X_1 + 0,05X_1^2 - 0,04X_1X_2 \quad (21)$$

$$\hat{y}_2 = 0,24 - 0,09X_1 + 0,05X_2 + 0,09X_1^2 - 0,04X_1X_2 \quad (22)$$

Figura 12 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para: (a) e (b) atividade de água; sendo (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.



De acordo com as Equações 21 e 22, na resposta à atividade de água, os dois fatores investigados afetaram de forma significativa (embora nem sempre por meio do efeito principal), tanto na secagem convectiva quanto no *cast-tape drying*. Os efeitos calculados (Tabela 8 para o planejamento 2³) mostram que o método de secagem também influenciou de forma significativa essa resposta. Analisando as superfícies de resposta das Figuras 12 (a) e (b), nota-se que, independentemente do processo de secagem utilizado, a atividade de água foi menor associando níveis mais elevados de temperatura com camadas menos espessas de pulmão suíno. Observa-se também que a atividade de água foi mais elevada (sendo inclusive para *cast-tape drying* acima de valores adequados) combinando baixas temperaturas e níveis mais altos de espessura. Percebe-se ainda que a interação entre os fatores foi significativa, o que se traduziu, visualizando, por exemplo, a Figura 11 (b) para *cast-tape drying*, em um maior efeito da temperatura para maiores espessuras quando comparado com camadas menos espessas e, similarmente, um maior efeito da espessura para temperaturas mais baixas, quando confrontado com temperaturas mais elevadas.

Os produtos secos geralmente têm atividade de água (a_w) abaixo de 0,7, sendo geralmente a maior estabilidade dos alimentos secos pode ser alcançada próximo de 0,35 (Labuza et al., 2007). Nesse contexto, os resultados de atividade de água da maioria das amostras de pulmão suíno seco estiveram nessa faixa. Esses dados também estão próximos aos descritos na literatura em outros estudos sobre carne seca. Por exemplo, Ozbekova et al. (2024) encontraram valores de atividade de água entre 0,220 e 0,331 em carne bovina e de iaque secas por secagem convectiva e liofilização, o que foi eficaz para inibir o crescimento de microrganismos.

Além disso, ao avaliar alimentos extrusados secos para cães e gatos, Başer e Yalçin (2017) relataram valores médios de atividade de água de 0,41 para os alimentos destinados aos gatos e 0,44 aos destinados a cães, que são ligeiramente superiores aos valores obtidos na maioria das condições de secagem do pulmão suíno do presente estudo. Timmons (2006) e Novasina (2011) também encontraram valores semelhantes de atividade de água para alimentos secos para animais de estimação na faixa de 0,40 a 0,45.

Decagon (2003) relatou que a faixa de atividade de água para alimentos para animais de estimação varia de 0,40 a 0,65, com microrganismos como

Saccharomyces rouxii, *Aspergillus echinulatus* e *Monascus bisporus* sendo inibidos em valores menores que essa faixa. Portanto, os valores obtidos para a secagem do pulmão suíno, particularmente os mais baixos na estufa convectiva, sugerem que o produto estaria fora da zona de risco de crescimento desses microrganismos, reforçando a adequação do método de secagem utilizado.

Por fim, Rostami et al. (2017) encontraram valores de atividade de água de $0,298 \pm 0,001$ para carne seca em pó por *cast-tape drying*, que estão dentro da faixa desejável de 0,2 a 0,4, em que não apenas o crescimento microbiano é inibido, mas também as taxas de oxidação lipídica, atividade enzimática e reações de hidrólise são significativamente reduzidas.

4.2.2.3 Higroscopicidade

Na Tabela 9 apresenta os resultados experimentais de higroscopicidade para o produto seco nas diferentes condições estudadas, respectivamente, para a secagem convectiva e para *cast-tape drying*.

Tabela 9 – Resultados de higroscopicidade para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e por *cast-tape drying*.

Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Higroscopicidade (g água/100 g sólido seco)	
		Secagem convectiva	<i>Cast-tape drying</i>
70	3	$11,53 \pm 1,28$	$13,37 \pm 0,71$
70	4	$14,15 \pm 1,06$	$12,56 \pm 1,60$
70	5	$13,11 \pm 0,89$	$11,65 \pm 1,57$
80	3	$15,52 \pm 1,17$	$17,17 \pm 1,08$
80	4	$14,62 \pm 0,46^*$	$16,87 \pm 0,47$
80	5	$14,82 \pm 0,59$	$16,08 \pm 0,06$
90	3	$17,2 \pm 0,23$	$14,57 \pm 0,31$
90	4	$17,92 \pm 0,2$	$13,58 \pm 0,68$
90	5	$17,93 \pm 0,15$	$15,49 \pm 0,40$
80	4	$16,81 \pm 0,80$	$19,45 \pm 0,49^*$
80	4	$20,69 \pm 0,26^*$	$17,71 \pm 0,61$

*outlier na regressão

A higroscopicidade oscilou na faixa de $11,53 \pm 1,28$ a $17,93 \pm 0,15$ g de água/g de sólido seco na secagem em estufa convectiva, e entre $11,65 \pm 1,57$ e $17,17 \pm 1,08$ g de água/g de sólido seco na secagem por *cast-tape drying*.

De acordo com Schuck et al. (2012), alimentos expostos a 75% de umidade relativa são levemente higroscópicos se apresentarem higroscopicidade de 10,1 a 15% e são considerados higroscópicos na faixa de 15,1 a 20%. Assim, com base nos resultados observados na Tabelas 9, os pulmões secos a 80 °C em todas as espessuras, 90 °C para todas as espessuras para a secagem convectiva e 90 °C a 5 mm para a secagem em *cast-tape drying* foram classificados como higroscópicos, enquanto os pulmões suínos secos em outras condições de temperatura e espessura são classificados como levemente higroscópicos. Esta análise é importante, por exemplo, se este produto for utilizado diretamente como ração para animais de estimação, como *snacks* para pequenos animais.

Na Tabela 10, considerando o planejamento fatorial 2^3 , são apresentados os valores dos efeitos estimados dos fatores obtidos para a higroscopicidade.

Tabela 10 - Efeitos significativos para quantidade de higroscopicidade para o planejamento fatorial 2^3 .

Fator	Atividade de Água	
	Efeito	p-valor
Média	14,11	0,0000
X ₁	3,39	0,0010
X ₂	-	-
X ₃	1,67	0,0081
X ₁ X ₂	-	-
X ₁ X ₃	1,86	0,0059
X ₂ X ₃	1,20	0,0202
R²	0,9892	

(-) efeito com p-valor maior que 0,1

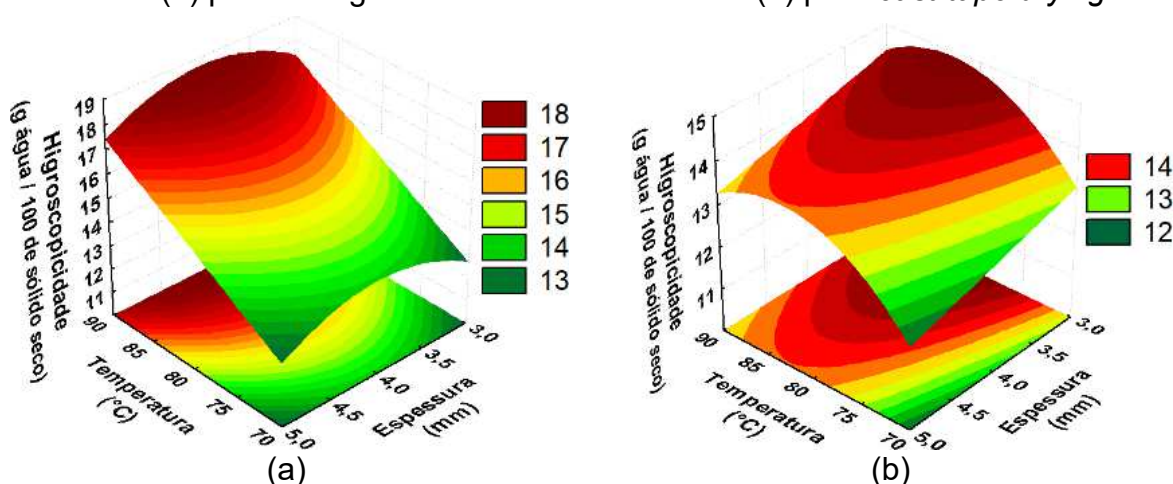
As equações empíricas com os coeficientes significativos (considerando um nível de significância de 10%) obtidas, a partir dos planejamentos fatoriais 3^2 , para representar a variação da higroscopicidade do produto seco são apresentadas nas Equações 23 e 24 para a secagem em estufa convectiva e *cast-tape drying*, respectivamente. Os coeficientes de determinação (R^2) para estas equações foram 0,9263 para a secagem em estufa e 0,9239 para a secagem em *cast-tape drying*. As superfícies de resposta representadas pelas Equações 23 e 24 são mostradas na Figura 13.

$$\hat{z}_3 = 16,29 + 2,38X_1 - 1,28X_1^2 \quad (23)$$

$$\hat{y}_3 = 14,21 + 0,65X_1 - 0,58X_2 - 1,03X_1^2 \quad (24)$$

Em relação à higroscopicidade, percebe-se na Figura 13 (a) que para a secagem em estufa convectiva o produto obtido foi menos higroscópico para as temperaturas mais baixas, sendo que o sinal positivo do efeito principal desta variável na Equação 23 revela que à medida que se diminuiu a temperatura a higroscopicidade reduziu. Em temperaturas mais baixas de secagem, a umidade residual tende a ser ligeiramente mais elevada, resultando em um menor gradiente de adsorção. Consequentemente, isso pode fazer com que os produtos sejam menos higroscópicos. Em relação a espessura, o efeito (Tabela 10) foi menos intenso e a higroscopicidade foi menor nos níveis extremos (efeito quadrático). Já no processo de *cast-tape drying*, observa-se na Figura 13 (b) que o material seco apresentou menor higroscopicidade para menores espessuras, sendo que o sinal negativo do efeito principal desta variável na Equação 24 indica que o produto ficou menos higroscópico com a elevação da espessura da camada de pulmão a ser seca. Além disso, visualiza-se que a higroscopicidade foi menor no nível inferior de temperatura, como já justificado anteriormente.

Figura 13 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para (a) e (b) higroscopicidade; sendo (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.



A comparação dos resultados obtidos com as referências disponíveis mostra que a higroscopicidade do pulmão suíno seco se comportou de maneira diferente a outros estudos envolvendo carne seca. Jayawardena et al. (2022) observaram uma diminuição significativa na higroscopicidade de pó de pulmão bovino seco a

temperaturas mais elevadas (70 e 100 °C) quando comparado a temperatura mais baixa utilizada para secar pulmão bovino (50 °C). Os autores atribuíram essa redução à desnaturação de proteínas a temperaturas mais elevadas, que aumenta a hidrofobicidade superficial, gerando uma força repulsiva em relação às moléculas de água. Enquanto no presente estudo, em maiores temperaturas (80 e 90 °C), os produtos secos foram mais higroscópicos.

Isso sugere que a carne seca pelo método *cast-tape drying* tem uma baixa taxa de absorção de umidade, mesmo em alta umidade relativa, o que pode ser vantajoso para aplicações em linhas de produção de alimentos, evitando a absorção indesejada de umidade do ambiente.

Os dados do presente estudo, em conjunto com a literatura, sugerem que a secagem por *cast-tape drying* e convectiva em estufa, quando controladas adequadamente, podem ser eficazes na obtenção de produtos com baixa higroscopicidade, favorecendo a estabilidade e a qualidade do pulmão suíno seco.

4.2.2.4 Quantidade de pigmentos heme totais e ferro heme

Nas Tabelas 11 e 12 estão apresentados os resultados experimentais para a quantidade de pigmentos heme totais e ferro heme para o material *in natura* e para o produto seco nas diferentes condições estudadas, respectivamente, para a secagem convectiva e para *cast-tape drying*. Os valores de pigmentos heme totais variaram entre $29,52 \pm 1,53$ mg/g e $44,08 \pm 1,46$ mg/g na secagem convectiva em estufa, e de $41,25 \pm 1,46$ mg/g a $52,98 \pm 9,91$ mg/g na secagem condutiva em *cast-tape drying*. Na Tabela 11 é mostrado que, na secagem convectiva, a quantidade de ferro heme variou de $0,100 \pm 0,005$ mg/g a $0,150 \pm 0,005$ mg/g.

Tabela 11 – Resultados de quantidade de pigmentos heme totais e quantidade de ferro heme para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva.

Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Quantidade de Pigmentos Heme Totais (mg/g de amostra)	Quantidade de Ferro Heme (mg/g de amostra)
Pulmão suíno <i>in natura</i>		15,99 ± 0,71	0,054 ± 0,002
70	3	33,97 ± 2,23	0,115 ± 0,008
70	4	36,40 ± 1,53	0,123 ± 0,005
70	5	31,95 ± 2,69	0,108 ± 0,009
80	3	44,08 ± 1,46	0,150 ± 0,005
80	4	40,04 ± 1,99	0,136 ± 0,007
80	5	36,40 ± 2,69	0,123 ± 0,009
90	3	40,44 ± 3,05	0,137 ± 0,010
90	4	29,52 ± 1,53	0,100 ± 0,005
90	5	32,35 ± 4,47	0,110 ± 0,015
80	4	42,87 ± 1,68	0,145 ± 0,006
80	4	41,65 ± 2,14	0,141 ± 0,007

Em contraste, na Tabela 12 está indicado que, na secagem por *cast-tape drying*, a quantidade de ferro heme foi ligeiramente maior, variando de 0,140 ± 0,005 mg/g a 0,180 ± 0,034 mg/g.

Tabela 12 – Resultados de quantidade de pigmentos heme totais e quantidade de ferro heme para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de *cast-tape drying*.

Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Quantidade de Pigmentos Heme Totais (mg/g de amostra)	Quantidade de Ferro Heme (mg/g de amostra)
Pulmão suíno <i>in natura</i>		15,99 ± 0,71	0,054 ± 0,002
70	3	48,93 ± 8,13	0,166 ± 0,028
70	4	49,74 ± 5,86	0,169 ± 0,020
70	5	46,10 ± 4,09	0,156 ± 0,014
80	3	51,76 ± 2,93	0,176 ± 0,010
80	4	52,98 ± 4,97	0,180 ± 0,017
80	5	52,98 ± 9,91	0,180 ± 0,034
90	3	43,67 ± 3,49	0,148 ± 0,012
90	4	42,87 ± 3,24	0,145 ± 0,011
90	5	41,25 ± 1,46	0,140 ± 0,005
80	4	49,74 ± 2,53	0,168 ± 0,009
80	4	50,55 ± 2,30	0,172 ± 0,008

Na Tabela 13, considerando o planejamento fatorial 2^3 , são apresentados os valores dos efeitos estimados dos fatores obtidos para os pigmentos heme e o ferro heme.

Tabela 13 - Efeitos significativos para pigmentos heme e ferro heme para o planejamento fatorial 2^3 .

Fator	Pigmentos heme totais		Ferro heme	
	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
Média	39,83	0,0000	0,135	0,0000
X_1	-	-	-	-
X_2	-3,84	0,0418	-0,007	0,0381
X_3	-10,31	0,0014	-0,018	0,0012
X_1X_2	-	-	-	-
X_1X_3	4,25	0,0309	0,007	0,0273
X_2X_3	-	-	-	-
R²	0,9892		0,9566	

(-) efeito com p-valor maior que 0,1

As equações empíricas com os coeficientes significativos (considerando um nível de significância de 10%) obtidas, a partir dos planejamentos 3^2 , para representar a variação dos pigmentos heme totais e do ferro heme no produto seco são apresentadas, respectivamente, nas Equações 25 e 26 para a secagem em estufa convectiva, e nas Equações 27 e 28 para *cast-tape drying*. Os coeficientes de determinação (R^2) para estas equações foram 0,8019 e 0,8021, respectivamente, para pigmentos heme totais e ferro heme na secagem em estufa. Já na secagem em *cast-tape drying*, os valores de R^2 foram 0,8903 e 0,9033, respectivamente, para pigmentos heme totais e ferro heme. As superfícies de resposta representadas pelas Equações de 25 a 28 são mostradas na Figura 14.

$$\hat{z}_4 = 40,89 - 2,97X_2 - 2,98X_1^2 \quad (25)$$

$$\hat{z}_5 = 0,139 - 0,010X_2 - 0,024X_1^2 \quad (26)$$

$$\hat{y}_4 = 51,60 - 2,83X_1 - 6,18X_1^2 \quad (27)$$

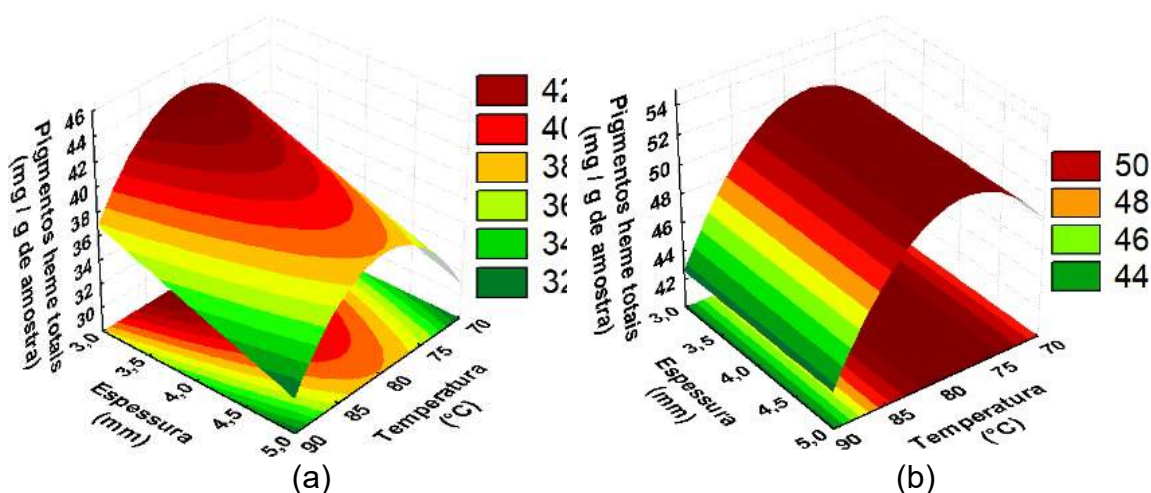
$$\hat{y}_5 = 0,175 - 0,010X_1 - 0,021X_1^2 \quad (28)$$

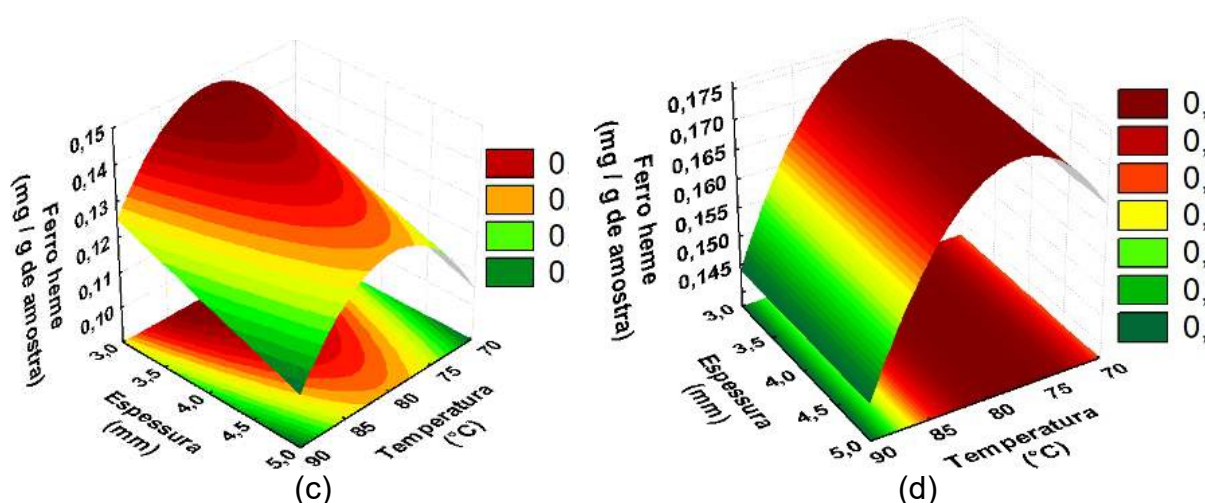
De acordo com as Equações 25 e 26, na secagem convectiva os dois fatores investigados afetaram de forma significativa, tanto nos pigmentos heme totais quanto no ferro heme. Por outro lado, segundo as Equações 27 e 28, no processo por *cast-tape drying* as variações dos pigmentos heme totais e do ferro heme foram afetadas de forma significativa somente pela variável temperatura da fonte de calor. Os efeitos calculados (Tabela 14 para o planejamento 2^3) mostram que o método de secagem

também influenciou significativamente nessas respostas, inclusive com intensidade maior pelo seu efeito principal.

Conforme visualizado na Figuras 14 os pigmentos heme totais e o ferro heme apresentaram maiores valores para níveis intermediários de temperatura para os dois processos de secagem estudados. Os valores da resposta foram menores para temperaturas mais elevadas e para temperaturas mais baixas (o que resultou em um maior tempo de exposição ao calor). Nota-se que os pigmentos foram maiores para *cast-tape drying*, o que pode ser verificado pelo forte efeito negativo do efeito principal da variável método de secagem na análise do planejamento a dois níveis (Tabela 14). Observa-se ainda que, embora para a secagem por *cast-tape drying* não tenha sido afetado significativamente pela espessura, na secagem convectiva à medida que se aumentou a espessura os pigmentos heme totais e o ferro heme diminuiram.

Figura 14 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para: (a) e (b) pigmentos heme totais; (c) e (d) ferro heme; sendo (a) e (c), para secagem em estufa convectiva e (b) e (d) para *cast-tape drying*.





Os pigmentos heme totais são importantes não apenas pela sua relação com a intensidade da cor vermelha, mas também por serem indicativos do teor de ferro heme, que é altamente biodisponível, proveniente da hemoglobina e mioglobina (Ramos; Gomide, 2017). Na presente pesquisa, os valores de pigmentos heme totais no produto seco variaram entre $29,52 \pm 1,53$ e $44,08 \pm 1,46$ mg/g de amostra na secagem convectiva em estufa, e entre $41,25 \pm 1,46$ e $52,98 \pm 9,91$ mg/g de amostra na secagem condutiva em *cast-tape drying*. Para ferro heme, os valores encontrados foram de $0,1 \pm 0,005$ a $0,15 \pm 0,005$ mg de HFe/g de amostra na secagem convectiva e $0,14 \pm 0,017$ e $0,18 \pm 0,005$ mg de HFe/g de amostra na secagem por *cast-tape drying*. Esses valores são relevantes, pois o ferro heme é uma fonte de ferro altamente biodisponível, essencial na nutrição animal.

No entanto, a literatura sugere que o cozimento pode degradar os componentes do grupo heme (Carpenter; Clark, 1995; Clark et al., 1997; Han et al., 1993). Embora haja pouca informação sobre o mecanismo exato de degradação do ferro heme, sugere-se que a liberação de ferro dos complexos de ferro heme pode ser responsável pelo aumento do ferro não-heme durante o processo de cozimento (Buchowski et al., 1988). Esse ferro não-heme atua como um catalisador para o rápido desenvolvimento de sabor oxidado em carnes cozidas (Chen et al., 1984; Igene et al., 1979). O estudo de Kongkachuichai et al. (2002) demonstrou que o teor de ferro heme diminui durante o cozimento, enquanto o ferro não-heme aumenta, corroborando a importância de controlar as condições de processamento para preservar o ferro heme.

Archundia-Herrera et al. (2024) conduziram uma revisão da literatura para examinar estudos sobre os níveis de ferro heme (FH), ferro não heme (FNH) e ferro total (FT) em vários alimentos de origem animal, usando métodos como o método Horsney, que também foi empregado neste estudo. Esses autores relataram que na carne suína crua, o valor encontrado de ferro heme foi de $0,69 \pm 0,40$ mg por 100 g (ou 0,0069 mg/g) e, após o cozimento no vapor, esse valor diminuiu para $0,59 \pm 0,28$ mg por 100 g (ou 0,0059 mg/g), inferiores aos obtidos por esse trabalho para o pulmão *in natura* (15,99 mg/g). Em outro estudo, foram encontrados valores de 0,60 a 0,82 mg por 100 g em carne de porco (lombo e alcatra) (ou 0,0060 a 0,0082 mg/g) (Pretorius et al., 2016). Esses resultados destacam o pulmão suíno como uma fonte considerável de ferro heme, superior às concentrações encontradas em cortes tradicionais de carne suína.

No entanto, o fígado bovino, relatado por Archundia-Herrera et al. (2024) apresentou pigmentos heme totais mais elevados (300 mg/g). Os autores também relataram que o cozimento e a fervura da carne suína e do fígado tiveram pouca variação no teor de ferro heme, sugerindo que a temperatura teve pouca influência neste parâmetro, enquanto este estudo revelou valores mais elevados de pigmento heme em amostras secas a 80°C, mostrando influência do processo de secagem e da temperatura. Vale salientar que essas diferenças são observadas de acordo com a espécie animal e sua anatomia, em que Buzala et al (2016) relatam que carnes vermelhas são fontes de ferro heme maiores do que as espécies consideradas como carne branca.

O estudo de Taniguchi et al. (2017) avaliou a porção de ferro heme e ferro não heme em mariscos e fígado bovino, encontrando valores entre 0,53 mg/100g (0,0053 mg/g) e 2,01 mg/100g (0,0201 mg/g) para mariscos e ostras, e aproximadamente 3,58 mg/100g (0,0358 mg/g) para fígado bovino. Em comparação, os resultados do pulmão suíno seco neste estudo são promissores, indicando uma presença e retenção significativa de ferro heme. Além disso, o estudo de Cross et al. (2013) mostrou que as carnes com maiores níveis de ferro heme foram hambúrgueres (média: 10,3 µg/g ou 0,0103 mg/g) e bife (média: 9,3 µg/g ou 0,0093 mg/g), enquanto os produtos suínos apresentaram valores na faixa de 3,4 µg/g a 7,5 µg/g (0,0034 mg/g a 0,0075 mg/g). Esses valores são menores do que os observados para o pulmão suíno seco, destacando-o como uma fonte importante de ferro heme.

A pesquisa de Jayawardena et al. (2022) mostrou que o teor de ferro heme diminui com o aumento da temperatura de secagem convectiva, com valores de 0,247 mg/g, 0,189 mg/g, e 0,171 mg/g de amostra de pulmão bovino seco para temperaturas de secagem de 50°C, 70°C e 100°C, respectivamente; concluindo que o ferro heme apresentou um declínio com o aumento da temperatura. As amostras secas a 50°C continham ferro heme equivalente a 40% do ferro total, diminuindo para 29% nas amostras secas a 100°C. Essa tendência foi observada também no presente estudo. Sendo que a alta temperatura de secagem pode induzir a clivagem oxidativa da estrutura da porfirina do ferro heme, transformando-o em ferro não-heme (Schricker; Miller, 1983).

Outro ponto que corrobora com os estudos relatados até o momento, é que a secagem convectiva em estufa resultou em valores de pigmentos heme totais menores que o *cast-tape drying*, indicando uma melhor retenção desse pigmento pelo segundo método. E essa diferença se reflete também na análise de cor, em que o *cast-tape drying* manteve valores mais elevados do parâmetro a^* , indicando uma coloração vermelha mais preservada, comparado à secagem convectiva que resultou em maior escurecimento e degradação da cor, conforme será mais bem detalhado no item 4.2.2.5.

Portanto, a manutenção dos pigmentos heme totais e do ferro heme no pulmão suíno seco é crucial não apenas para a preservação da cor vermelha característica, mas também para garantir a boa biodisponibilidade do ferro.

4.2.2.5 Determinação da cor

Nas Tabelas 14 e 15 estão mostrados os parâmetros de cor instrumental para as amostras de pulmão suíno secos nas diferentes condições de processo na secagem convectiva e por *cast-tape drying*, respectivamente. Os resultados experimentais nas diferentes condições estudadas para: parâmetro L^* , parâmetro a^* , parâmetro b^* , chroma (C^*), ângulo de tonalidade (h°) e variação global de cor (ΔE).

Tabela 14 – Resultados dos parâmetros de cor instrumental L^* , a^* , b^* , chroma (C^*), ângulo de tonalidade (h°) e variação global de cor (ΔE) para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva.

Temp. (°C)	Esp. (mm)	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	ΔE
Pulmão suíno <i>in natura</i>		$16,87 \pm 2,01$	$15,56 \pm 2,74$	$5,84 \pm 1,36$	$16,62 \pm 2,97$	$24,75 \pm 2,58$	-
70	3	$9,87 \pm 1,12$	$9,87 \pm 1,12$	$5,85 \pm 0,34$	$6,55 \pm 0,41$	$59,33 \pm 0,64$	14,07
70	4	$11,28 \pm 1,48$	$4,35 \pm 0,39$	$6,45 \pm 0,39$	$7,69 \pm 0,52$	$56,68 \pm 1,26$	9,02
70	5	$10 \pm 0,75$	$4,16 \pm 0,05$	$5,95 \pm 0,21$	$7,26 \pm 0,15$	$55,03 \pm 1,12$	12,36
80	3	$8,52 \pm 1,01$	$3,22 \pm 0,37$	$5,34 \pm 0,62$	$6,24 \pm 0,72$	$58,98 \pm 0,05$	14,91
80	4	$9,58 \pm 0,54$	$3,63 \pm 0,43$	$5,71 \pm 0,79$	$6,76 \pm 0,89$	$57,34 \pm 1,14$	13,98
80	5	$8,99 \pm 1,46$	$3,17 \pm 0,10$	$6,21 \pm 0,67^{**}$	$7,05 \pm 0,60$	$61,73 \pm 2,65^{**}$	14,69
90	3	$6,17 \pm 0,63$	$2,8 \pm 0,80$	$5,59 \pm 0,59$	$6,25 \pm 0,89$	$63,36 \pm 3,90$	16,65
90	4	$6,30 \pm 1,86$	$2,48 \pm 0,75$	$5,41 \pm 0,54$	$5,96 \pm 0,81$	$64,32 \pm 3,98$	16,82
90	5	$4,99 \pm 1,37$	$1,78 \pm 0,70$	$4,14 \pm 0,91$	$4,42 \pm 0,91$	$64,61 \pm 4,40$	18,27
80	4	$10,07 \pm 0,71$	$3,99 \pm 0,51$	$5,86 \pm 0,64$	$7,09 \pm 0,82$	$56,23 \pm 0,72$	11,57
80	4	$8,54 \pm 0,86$	$3,43 \pm 0,7$	$5,00 \pm 0,56^{**}$	$6,07 \pm 0,85$	$55,55 \pm 0,72$	12,16

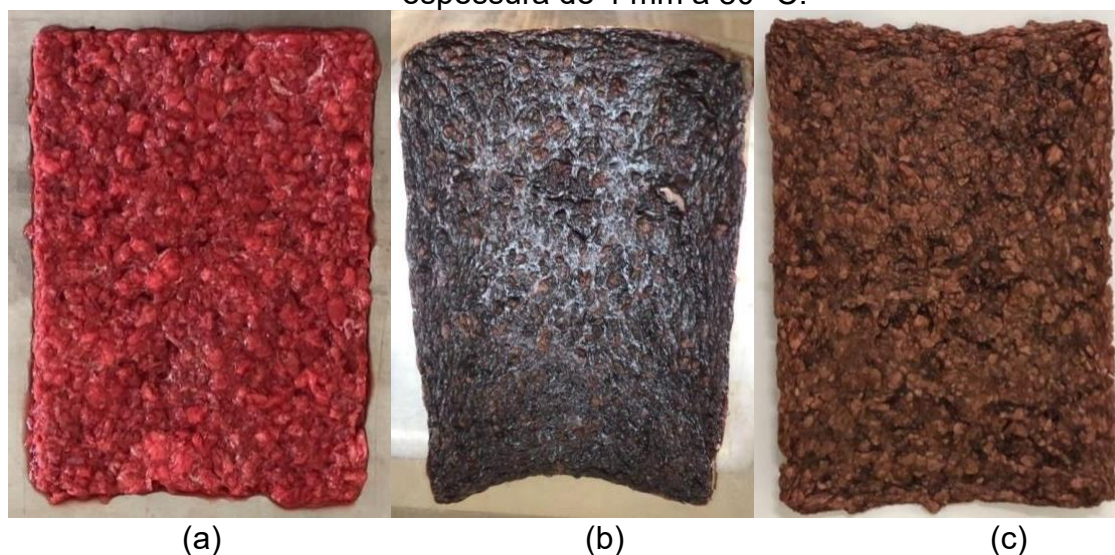
**outlier na regressão

Tabela 15 – Resultados dos parâmetros de cor para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de *cast-tape drying*.

Temp. (°C)	Esp. (mm)	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	ΔE
Pulmão suíno <i>in natura</i>		$16,87 \pm 2,01$	$15,56 \pm 2,74$	$5,84 \pm 1,36$	$16,62 \pm 2,97$	$24,75 \pm 2,58$	-
70	3	$7,10 \pm 0,98$	$4,41 \pm 0,62$	$5,26 \pm 0,50$	$6,86 \pm 0,71$	$49,37 \pm 1,66$	14,84
70	4	$6,70 \pm 0,16$	$4,74 \pm 0,36$	$5,45 \pm 0,25$	$7,28 \pm 0,42$	$49,39 \pm 1,04$	14,85
70	5	$6,88 \pm 1,05$	$4,15 \pm 0,61$	$5,44 \pm 0,82$	$6,97 \pm 0,98$	$54,71 \pm 2,43$	15,17
80	3	$6,39 \pm 2,09$	$3,70^* \pm 1,32^{**}$	$4,86^* \pm 1,37$	$6,11^* \pm 1,89$	$52,67^* \pm 1,72^{**}$	15,86^{**}
80	4	$8,21 \pm 0,62$	$6,09 \pm 0,14$	$6,13 \pm 0,45$	$8,65 \pm 0,41$	$45,17 \pm 1,53$	12,84
80	5	$6,97 \pm 4,02$	$7,07 \pm 1,93$	$6,14 \pm 1,25$	$9,36 \pm 2,17$	$45,22 \pm 5,41$	13,05
90	3	$7,68 \pm 2,59$	$3,77 \pm 0,66$	$6,10 \pm 0,70$	$7,17 \pm 0,91$	$54,73 \pm 2,58$	14,95
90	4	$6,16 \pm 0,19$	$4,29 \pm 1,30$	$4,99 \pm 0,20$	$6,43 \pm 0,89$	$48,19 \pm 8,72$	15,57
90	5	$6,48 \pm 0,68$	$4,89 \pm 0,93$	$4,99 \pm 0,66$	$6,95 \pm 1,10$	$45,27 \pm 1,85$	14,92
80	4	$6,12 \pm 0,74$	$3,3 \pm 0,37^{**}$	$4,32 \pm 0,27$	$5,44 \pm 0,44$	$52,63 \pm 1,44^{**}$	16,38^{**}
80	4	$7,6 \pm 0,6$	$5,32 \pm 0,95$	$5,48 \pm 0,32$	$7,46 \pm 0,87$	$44,52 \pm 3,71$	13,82

O maior valor de L^* observado nas amostras secas foi de 11,28 para a secagem convectiva a 70 °C e 4 mm de espessura, o que indica o intenso escurecimento do material com os processos de secagem. Outro ponto importante de se observar é o fato de os valores do parâmetro a^* estarem distantes de 60 e os valores do ângulo de tonalidade estarem distantes de 0° indica a tendência da exposição ao calor (elevadas temperaturas) durante um determinado tempo, resultando na alteração da cor vermelha característica. Além disso, os resultados da diferença total de cor (ΔE) com valores significativamente acima de 3,5 (Mokrzycki; Tatol, 2011) revelam a dificuldade em preservar a cor natural em produtos cárneos secos, quando submetidos a um processamento térmico. Na Figura 15, é possível observar imagens do pulmão suíno moído *in natura* (A), seco em estufa convectiva (B) e seco por *cast-tape drying* (C). Na Figura 15 está mostrada uma imagem do pulmão suíno: (a) fresco, (b) seco em estufa e (c) seco por *cast-tape drying*, no qual pode-se observar visualmente que foi evidente o escurecimento das amostras secas em ambos os processos.

Figura 15 – Imagem do pulmão suíno moído: (a) fresco, (b) seco em estufa convectiva em espessura de 4 mm a 90 °C e (c) seco por *cast-tape drying* em espessura de 4 mm a 80 °C.



Fonte: Autoria própria (2024).

A cor da carne *in natura* é determinada pelo estado químico do ferro heme, que faz parte dos derivados químicos da mioglobina, podendo estar na forma reduzida ou oxidada. O parâmetro a^* está intimamente relacionado com a mioglobina presente na carne, de modo que quanto maior o valor de a^* , mais intensa será a coloração vermelha. A mioglobina é o principal pigmento responsável pela cor da carne, sendo o grupo heme o componente responsável por absorver a cor e a luz deste pigmento

vermelho (Ramos; Gomide, 2017). A descoloração e/ou escurecimento da carne ocorre devido à oxidação da mioglobina, resultando na formação de metamioglobina, um pigmento de cor marrom que aparece com mais frequência nas superfícies da carne. A formação de metamioglobina a partir de mioglobina ou oximioglobina é acelerada por condições como pH baixo, calor, sais e luz ultravioleta, que causam a desnaturação da porção globina (Ozbekova et al., 2024), justificando assim, as mudanças na coloração que se observou nos pulmões secos tanto na estufa convectiva quanto por *cast-tape drying*, quando comparados ao pulmão suíno *in natura*.

Ainda sobre a análise dos parâmetros de cor, incluindo L^* , a^* , b^* , C^* , h° e ΔE , os resultados mostraram que o método de secagem influencia significativamente na qualidade visual do produto final. A secagem convectiva resultou em maior variação de cor (ΔE) e menor preservação do vermelho (a^*), devido ao longo tempo de exposição ao calor e possível superaquecimento. Em contraste, o *cast-tape drying*, com menor tempo de secagem, preservou melhor os pigmentos heme e a cor vermelha característica, evidenciando-se como uma tecnologia mais eficaz para a produção de alimentos secos de alta qualidade nutricional e visual.

Na Tabela 16, considerando o planejamento fatorial 2^3 , são apresentados os valores dos efeitos estimados dos fatores obtidos para os parâmetros de cor instrumental.

Tabela 16 - Efeitos significativos para os parâmetros de cor instrumental para o planejamento fatorial 2^3 .

Fator	L^*		a^*		b^*		ΔE		h°	
	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
Média	7,40	0,0000	4,48	0,0050	5,42	0,0000	15,15	0,0000	55,80	0,0000
X_1	-2,13	0,0017	-2,34	0,0664	-0,42	0,0137	2,09	0,0139	-	-
X_2	-0,62	0,0196	-	-	-0,57	0,0058	-	-	-	-
X_3	0,72	0,0144	-	-	-	-	-	-	9,56	0,0547
X_1X_2	-0,57	0,0226	-	-	-0,71	0,0031	-	-	-	-
X_1X_3	-2,22	0,0016	-2,39	0,0640	-0,615	0,0047	2,16	0,0125	-	-
X_2X_3	-	-	-1,90	0,0960	-	-	-	-	-	-
R2	0,9986		0,9598		0,9861		0,9055		0,8071	

(-) efeito com p-valor maior que 0,1

As equações empíricas com os termos significativos (considerando um nível de significância de 10%) obtidas, a partir dos planejamentos 3^2 , para representar em função das variáveis independentes estudadas, a variação dos parâmetros de cor

instrumental do produto seco, isto é, a^* , ΔE , h° são apresentadas, respectivamente, nas Equações de 29, 30 e 32 para a secagem convectiva em estufa, e nas Equações de 33, 34 e 35 para *cast-tape drying*. A Equação 31 representa a variação do croma para a secagem convectiva. Para os parâmetros L^* , b^* e C^* na secagem por *cast-tape drying* e os parâmetros L^* e b^* para secagem em estufa, o coeficiente de determinação foi baixo e os coeficientes estimados do modelo não foram significativos, mostrando a não adequabilidade do modelo para representar essas respostas. Os coeficientes de determinação (R^2) para as equações de regressão foram 0,8026, 0,8842, 0,8045 e 0,9671, respectivamente, para parâmetro a^* , mudança global de cor (ΔE), croma (C^*) e ângulo de tonalidade (h°) na secagem convectiva. Enquanto para o processo de *cast-tape drying*, os valores de R^2 foram 0,8718, 0,9076 e 0,9943, respectivamente, para parâmetro a^* , mudança global de cor (ΔE) e ângulo de tonalidade (h°).

Observa-se que, seja de forma isolada, por meio de interação entre os fatores ou ainda por meio de termo quadrático, tanto a temperatura quanto a espessura influenciaram significativamente nos parâmetros de cor instrumental para os quais foram obtidos modelos empíricos, a exceção foi nos parâmetros a^* e ΔE para o processo de *cast-tape drying*, em que somente a variável temperatura teve efeito significativo. Os efeitos calculados (Tabela 16 para o planejamento 2^3) mostram que o método de secagem também influenciou de forma significativa nessas respostas (a exceção foi para a resposta croma que não apresentou efeito significativo no planejamento a dois níveis). As superfícies de resposta representadas por Equações de 29 a 35 são mostradas na Figura 16.

$$\hat{z}_6 = 3,32 - 1,89X_1 - 1,13X_2 + 1,17X_1X_2 \quad (29)$$

$$\hat{z}_7 = 13,60 + 2,72X_1 + 1,93X_2^2 \quad (30)$$

$$\hat{z}_8 = 6,79 - 0,81X_1 - 0,60X_1X_2 \quad (31)$$

$$\hat{z}_9 = 56,76 + 3,54X_1 - 1,05X_2 + 3,79X_1^2 + 1,39X_1X_2 \quad (32)$$

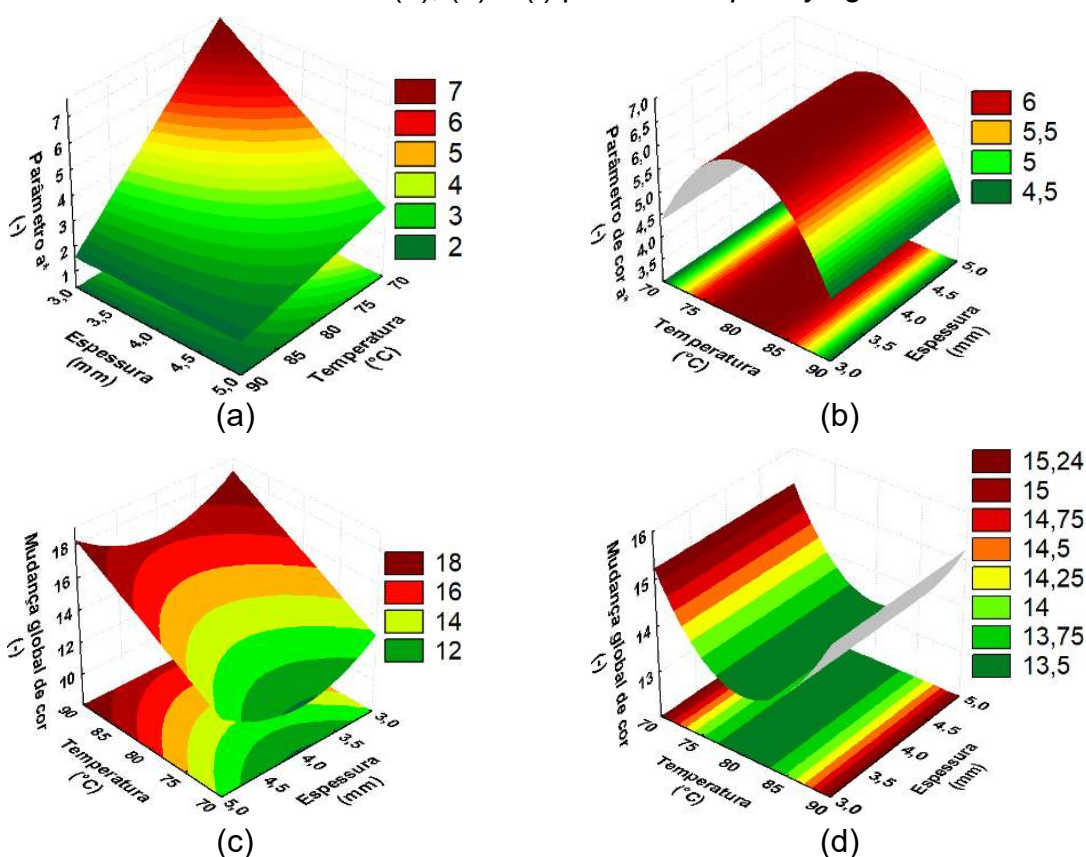
$$\hat{y}_6 = 5,98 - 1,73X_1^2 \quad (33)$$

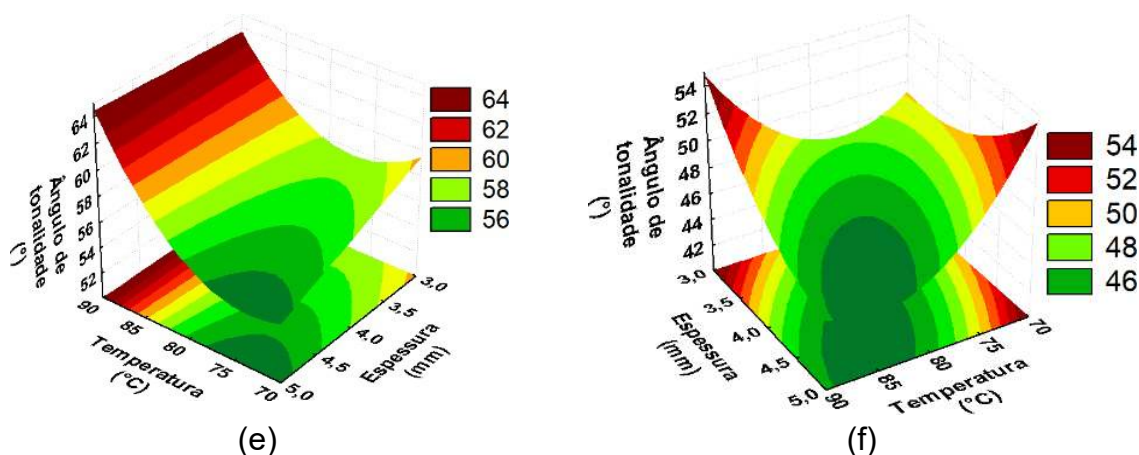
$$\hat{y}_7 = 13,31 + 1,93X_1^2 \quad (34)$$

$$\hat{y}_8 = 44,68 - 0,88X_1 - 1,11X_2 + 4,28X_1^2 + 1,98X_1^2 - 3,70X_1X_2 \quad (35)$$

Na Figura 16 (a), observa-se que, na secagem em estufa convectiva, a combinação de menor temperatura com maior espessura favoreceu a preservação da cor vermelha característica do pulmão suíno. Provavelmente, o maior tempo de exposição ao calor (secagem mais longa), combinado com temperaturas mais brandas, compensou a preservação da cor. Por outro lado, uma menor espessura resultou em uma secagem mais rápida, preservando melhor a cor em comparação com uma maior espessura. Verifica-se um efeito significativo da interação entre os fatores, mostrando que a temperatura teve um impacto mais intenso em camadas de pulmão menos espessas, enquanto a variação da espessura praticamente não afetou a resposta em temperaturas mais elevadas.

Figura 16 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada para: (a) e (b) parâmetro a^* ; (c) e (d) mudança global de cor; sendo (a), (c) e (e) para secagem estufa convectiva e (b), (d) e (f) para *cast-tape drying*.





De acordo com a Figura 16 (b), o parâmetro a^* para o produto seco por *cast-tape drying* mostrou uma região de máximo em níveis intermediários de temperatura, indicando que cerca de 80 °C foi mais propenso a manter a cor vermelha. Temperaturas mais elevadas (90 °C) ou maiores tempos de exposição ao calor em níveis inferiores de temperatura (70 °C) foram condições que alteraram significativamente a cor vermelha característica. Nas Figuras 16 (e) e (f) são mostrados, respectivamente, que o vermelho foi menos alterado (menor h°) associando maior temperatura com maior espessura na secagem em estufa convectiva, e menor temperatura com maior espessura na secagem em *cast-tape drying*, que foram as condições que tiveram comportamento cinético semelhante com tempo de secagem (até 10% de umidade) de aproximadamente 330 minutos (Figura 16 (f)). O ângulo de tonalidade tendeu a ser menor para *cast-tape drying*, indicando menor alteração da cor vermelha para este processo, evidenciado pelo forte efeito positivo do método de secagem na análise do planejamento a dois níveis (Tabela 16). Além disso, nas Figuras 16 (c) e (d) são mostrados que a cor global sofreu menor mudança (menor ΔE) para a combinação de menor temperatura e espessura intermediária na secagem convectiva, e nível intermediário de temperatura no *cast-tape drying*.

Franco et al. (2019), ao avaliarem a desidratação de carne bovina e salmão por secagem convectiva e *cast-tape drying*, aplicando duas temperaturas (55 e 99 °C), encontraram uma diferença significativa na mudança global de cor com a aplicação da maior temperatura para a secagem convectiva. Em contraste, a secagem por *cast-tape drying* mostrou menor variação na diferença global de cor, independente da temperatura, indicando que este método sofre menos influência térmica. O estudo de Franco et al. (2019) corrobora ainda com o presente estudo, sugerindo que o método

de secagem convectiva geralmente tem maior efeito sobre a mudança global de cor do que o método por *cast-tape drying*.

Jayawardena et al. (2022) demonstraram que temperaturas de secagem mais elevadas reduziram significativamente a vermelhidão (a^*) e resultaram em amostras mais escuras (L^*) para pulmões bovinos submetidos à secagem convectiva, comportamento semelhante ao observado neste estudo para pulmões suínos moídos. Corroborando esses achados, Sirimark et al. (2022) identificaram que o aumento da temperatura durante a secagem convectiva de fatias de carne suína resultou em diminuição da luminosidade (L^*), intensificando o escurecimento do tecido cárneo, enquanto a vermelhidão (a^*) também diminuiu. Esse padrão foi igualmente observado nos resultados de Aksoy et al. (2019), que relataram o escurecimento da carne seca picada submetida a altas temperaturas de secagem.

Além disso, a secagem de produtos cárneos por secagem convectiva provoca uma mudança de cor devido à reação de Maillard. Essa reação de escurecimento não enzimática de tecidos cárneos ocorre entre aminoácidos e açúcares redutores no músculo da carne e é influenciada por vários fatores, dentre eles tempo de exposição ao calor, temperatura, atividade de água (Uengkimbuan et al., 2007).

Esses resultados destacam a complexidade na preservação da cor vermelha característica durante o processo de secagem de produtos cárneos. As diferentes condições de temperatura e espessura, bem como o método de secagem, têm impactos variados na cor final do produto, sendo crucial otimizar esses parâmetros para alcançar um produto de qualidade superior.

4.2.2.6 Textura instrumental

Na Tabela 17 são apresentados os resultados experimentais de dureza para o produto seco nas diferentes condições estudadas, respectivamente, para a secagem convectiva e para *cast-tape drying*.

Os valores de dureza flutuaram entre $5,00 \pm 1,26$ e $20,35 \pm 3,86$ N na secagem em estufa e na faixa de $7,04 \pm 2,98$ a $14,70 \pm 1,74$ N na operação em *cast-tape drying*. Para esta resposta, a estimativa dos efeitos apresentou um coeficiente de determinação (R^2) baixo e os efeitos não foram significativos.

Tabela 17 – Resultados de dureza (N) para diferentes condições de temperatura e espessura no processo de secagem convectiva e de *cast-tape drying*.

Temperatura (°C)	Espessura (mm)	Dureza (N)	
		Secagem convectiva	<i>Cast-tape drying</i>
70	3	10,54 ± 1,83	8,37 ± 4,22
70	4	10,1 ± 1,84	7,25 ± 1,26
70	5	20,35 ± 3,86	10,75 ± 0,70
80	3	5,16 ± 0,61	9,38 ± 1,53
80	4	5,00 ± 1,26	8,20 ± 0,96
80	5	7,14 ± 1,32	7,89* ± 1,65
90	3	10,82 ± 2,45	7,22 ± 2,11
90	4	10,47 ± 2,24	7,04 ± 2,98
90	5	11,20 ± 4,42	14,70 ± 1,64
80	4	19,64 ± 3,25*	19,64 ± 3,24*
80	4	19,08 ± 2,61*	19,08 ± 2,61*

*Outlier na regressão

As equações empíricas com os coeficientes significativos (considerando um nível de significância de 10%) obtidas a partir dos planejamentos 3², para representar a variação da dureza do produto seco são apresentadas nas Equações 36 e 37 para a secagem em estufa convectiva e *cast-tape drying*, respectivamente. Os coeficientes de determinação (R²) para estas equações foram 0,9257 para a secagem em estufa e 0,9794 para a secagem em *cast-tape drying*. As superfícies de resposta representadas pelas Equações de 36 e 37 são mostradas na Figura 17.

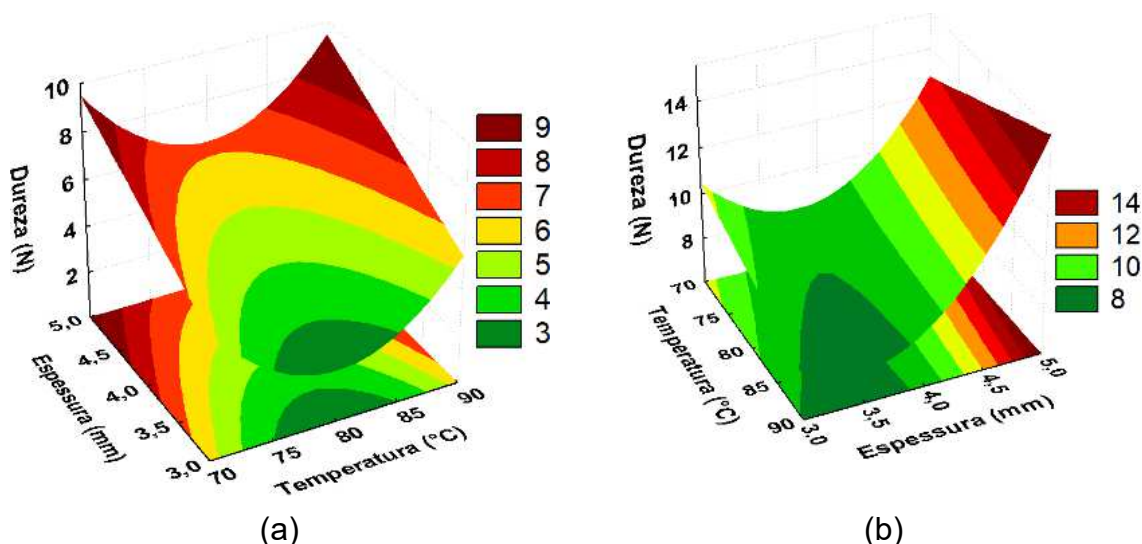
$$\hat{z}_{10} = 4,21 + 2,03X_2 + 6,48X_1^2 \quad (36)$$

$$\hat{y}_9 = 8,38 + 2,43X_2 + 3,25X_2^2 + 1,28X_1X_2 \quad (37)$$

No que diz respeito à dureza, observa-se na Figura 17 (a) que, para a secagem convectiva em estufa, o pulmão suíno seco foi mais macio combinando temperaturas intermediárias com menores espessuras, sendo que a superfície de resposta e o sinal positivo do coeficiente de regressão (e do efeito) associado à espessura mostra que a dureza foi propensa a aumentar à medida que essa variável foi elevada. Enquanto para a secagem por *cast-tape drying*, nota-se pela Figura 17 (b) que à medida que a espessura foi aumentada, a amostra tendeu a ser mais dura. Devido ao efeito de interação entre os fatores, a dureza tendeu a diminuir com a elevação da temperatura, fixando a espessura em baixos níveis e, em sentido inverso,

fixando a espessura em níveis superiores, a dureza tendeu a crescer com o aumento da temperatura. O produto seco foi mais macio combinando níveis superiores de temperaturas com níveis mais baixos de espessura.

Figura 17 - Superfícies de respostas em função da temperatura de secagem e da espessura da camada espalhada de pulmão suíno para (a) e (b) dureza; sendo (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.



A literatura não faz referência a estudos com textura de pulmão desidratado. Porém, é importante dizer que o processo de secagem promove a redução de água e textura mais dura ao produto. Bulgaru et al. (2022) avaliaram o perfil de textura do processo de maturação a seco em carne bovina por 35 dias e observaram a influência de características físico-químicas, como teor de proteína solúvel, teor de proteína sarcoplasmática, teor de colágeno solúvel e total e capacidade de retenção de água (CRA). Bodruk et al. (2023) avaliaram a dureza (N) em fatias de amostras de carne bovina com 5 mm de espessura, utilizando métodos de pré-secagem na secagem por sopro explosivo (EPD) e encontraram valores superiores (294,2 N) ao nosso estudo. Porém, os valores aumentados de dureza encontrados por estes autores podem ser decorrentes da formação de uma crosta na superfície da amostra devido à exposição prolongada à potência de micro-ondas ou às altas temperaturas do ar.

Considerando o potencial de utilização dessas amostras em formato de *snack* após desidratação por *cast-tape drying*, avaliar a dureza é importante, pois é um atributo desejado para petiscos mastigáveis para cães, cujo teor de proteína pode ter grande influência na formação de biscoitos duros (Pauly et al., 2013). Além disso, conforme mostrado pela superfície de resposta, a espessura e a geometria das

amostras também influenciam a dureza obtida. Os salgadinhos produzidos por Poppi et al. (2023) apresentaram valores de dureza superiores (45,86 N) aos deste trabalho, possivelmente devido aos diferentes ingredientes e formato em relação ao presente estudo.

He et al. (2020) avaliaram diversos produtos comestíveis para cães e gatos, incluindo sete produtos cárneos destinados ao agrado desses animais. As dimensões dos produtos (comprimento x largura x espessura) avaliados foram as seguintes: produto cárneo 1 (frango, grãos de soja, carne bovina e farinha de soja) medindo 51×30×11 mm; produto cárneo 2 (pato, peru e farinha de soja) medindo 70×17×6 mm; produto cárneo 3 (frango, grãos de soja, carne bovina e farinha de soja) medindo 27×25×24 mm; produto cárneo 4 (pescado desidratado) medindo 42×31×4 mm; produto cárneo 5 (carne e bacon com farinha de trigo) medindo 40×22×6 mm; produto cárneo 6 (farinha de frango e soja com farinha de trigo) medindo 70×15×7 mm; e produto cárneo 7 (fígado de cordeiro liofilizado) medindo 24×17×12 mm. Na análise de textura, os valores de dureza obtidos para cada produto foram, respectivamente: 5,886 N, 6,867 N, 3,924 N, 36,297 N, 20,601 N, 10,791 N e 14,715 N. Esses resultados mostram que as forças de dureza podem ter sido influenciadas não somente pela espessura, mas também pela formulação e/ou produto cárneo utilizado na elaboração dos petiscos.

A relação entre espessura e dureza sugere que a estrutura interna dos produtos desidratados influencia significativamente a força necessária para rompê-los ou deformá-los. No estudo de He et al. (2020), o produto cárneo 4, com dimensões de 42×31×4 mm, apresentou a maior dureza de 36,297 N, valor substancialmente superior ao encontrado para produtos de menor espessura, como o produto cárneo 3, com dimensões de 27×25×24 mm e dureza de 3,924 N. A maior espessura do pescado desidratado implica em maior resistência à penetração, refletindo em maiores valores de dureza.

De forma semelhante, no presente trabalho com pulmão suíno moído desidratado, as amostras com maior espessura apresentaram valores mais elevados de dureza. Essa correlação positiva entre espessura e dureza sugere que, à medida que a espessura das amostras aumenta, a resistência estrutural do material também aumenta, exigindo mais força para deformação ou ruptura. Portanto, a análise dos

dados confirma que as maiores forças encontradas no artigo de He et al. (2020) são congruentes com os resultados obtidos no presente estudo, em que a espessura desempenha um papel crucial na determinação da dureza dos produtos desidratados.

Dadmohammadi e Datta (2022) observaram que a secagem prolongada a altas temperaturas leva ao aumento da contração das fibras musculares da carne suína, danificando significativamente a microestrutura interna e resultando no colapso dos poros, aumentando a dureza. Para os pulmões desidratados por *cast-tape drying* deste estudo, em que a dureza do pulmão suíno aumentou significativamente em maiores espessuras e temperaturas mais altas, sugere que a contração das fibras e o colapso dos poros também podem ter ocorrido. Porém, para o mesmo método, obteve-se um elevado valor de dureza quando associadas a maior temperatura e menor espessura, sugerindo que há efeito da interação dos dois fatores.

4.2.2.7 Isotermas de sorção de umidade

Na Tabela 18 apresenta os resultados de isotermas de sorção, com valores de umidade de equilíbrio em função de atividade de água para o pulmão suíno seco submetido a diferentes condições de secagem (em estufa e por *cast-tape drying*). Observa-se que, em todas as condições, em geral, a atividade de água tendeu a aumentar com a elevação da umidade relativa. Para a secagem em estufa, os valores de umidade de equilíbrio são ligeiramente maiores nas temperaturas mais baixas e espessuras maiores (70 °C e 5 mm) em comparação com 90 °C e 3 mm, enquanto para o método *cast-tape drying* há uma tendência similar. Esta variação sugere que a espessura do material e a temperatura de secagem influenciam a retenção de umidade, sendo que menores temperaturas e maiores espessuras tenderam a manter adsorvido menos umidade, o que indica menor propensão a ser mais higroscópico.

Tabela 18 - Umidade de equilíbrio das condições de secagem em estufa convectiva e *cast-tape drying* submetidas a diferentes umidades.

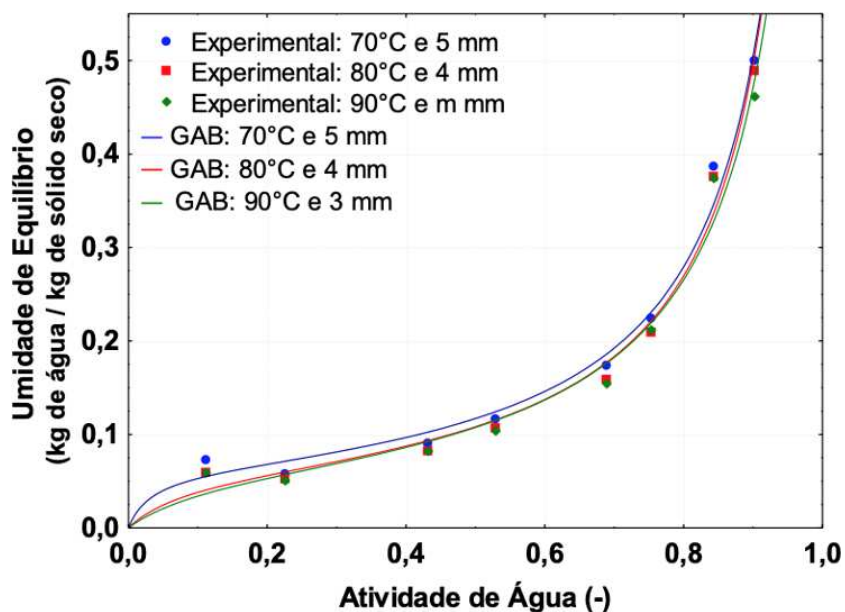
Atividade de água	Atividade de água					
	Estufa			Cast-tape drying		
	70°C e 5 mm	80°C e 4 mm	90°C e 3 mm	70°C e 5 mm	80°C e 4 mm	90°C e 3 mm
0,113	0,0722	0,0582	0,0592	0,0510	0,0498	0,0589
0,226	0,0580	0,0519	0,0503	0,0600	0,0701	0,0526
0,432	0,0908	0,0824	0,0822	0,0927	0,0917	0,0837
0,529	0,1158	0,1071	0,1032	0,1179	0,1177	0,1102
0,689	0,1734	0,1589	0,1550	0,1787	0,1711	0,1591
0,753	0,2246	0,2092	0,2112	0,2300	0,2153	0,2098
0,843	0,3861	0,3755	0,3741	0,3760	0,3249	0,3747
0,902	0,4999	0,4891	0,4618	0,5377	0,4806	0,4675

As isotermas de sorção de umidade foram modeladas matematicamente usando as Equação 17 e 18 para os modelos Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) e Brunauer, Emmett e Teller (BET) (1938), respectivamente. Os parâmetros estimados pelos modelos GAB e BET, apresentados na Tabela 19, mostram um bom ajuste dos modelos matemáticos aos dos dados experimentais, com coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,96. Nas Figuras 18 (a) e (b) estão apresentadas as curvas de isotermas de sorção de umidade e o modelo de GAB ajustado aos dados experimentais para o pulmão suíno seco, tanto para secagem em estufa (Figura 18 (a)) quanto para secagem por *cast-tape drying* (Figura 18 (b)).

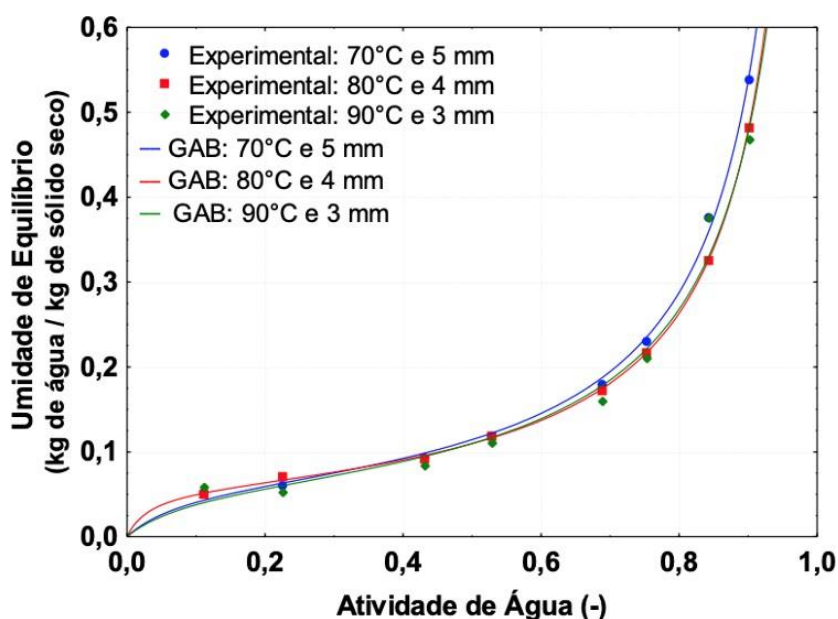
Tabela 19 - GAB e BET para o pulmão seco secagem em estufa convectiva e *cast-tape drying*.

Modelo	Atividade de água	Atividade de água					
		Estufa			Cast-tape drying		
		70°C e 5 mm	80°C e 4 mm	90°C e 3 mm	70°C e 5 mm	80°C e 4 mm	90°C e 3 mm
GAB	X_m	0,062	0,060	0,062	0,063	0,058	0,062
	C	33,828	12,247	9,147	12,552	30,662	11,302
	K	0,975	0,978	0,967	0,982	0,977	0,968
	R^2	0,9855	0,9844	0,9774	0,9974	0,9997	0,9803
BET	X_m	0,053	0,051	0,049	0,055	0,049	0,050
	C	$7,56 \cdot 10^{12}$	$4,93 \cdot 10^{12}$	$5,93 \cdot 10^{12}$	$-3,06 \cdot 10^{12}$	$6,14 \cdot 10^{12}$	$5,80 \cdot 10^{12}$
	n	305,00	305,00	305,00	305,00	305,00	305,00
	R^2	0,9740	0,9788	0,9657	0,9927	0,9915	0,9687

Figura 18 – Isotermas de sorção de umidade do pulmão suíno (a) para secagem em estufa convectiva e (b) para *cast-tape drying*.



(a)



(b)

Em ambas as figuras, os dados experimentais se ajustam bem às curvas simuladas pelo modelo GAB, confirmando a adequação desse modelo para descrever a sorção de umidade do material. As curvas mostram um aumento exponencial da umidade de equilíbrio conforme a atividade de água aumenta, com pequenas diferenças entre as condições de secagem. No modelo GAB o parâmetro X_m , estimado pela regressão não linear dos dados experimentais, refere-se ao valor da umidade da

monocamada molecular, que é um parâmetro que indica a quantidade de água fortemente adsorvida na estrutura matricial ou em sítios do alimento. Esse valor também é um indicativo da umidade segura para a preservação de alimentos desidratados, uma vez que reações físico-químicas e bioquímicas são desfavorecidas (Rahman, 2008; Shrestha et al., 2007; Goula et al., 2008; Wani; Kumar, 2016; Arslan-Tontul, 2020). Os valores de X_m estimados pelo modelo de GAB para ambos os processos de secagem nas condições avaliadas foram próximos a 0,06 g de água/g de sólidos secos. O comportamento similar de sorção de umidade das amostras secas na faixa de atividade de água investigada para ambos os processos também pode ser também observado pelas Figuras 18 (a) e (b). Assim, como esse produto não foi formulado (não teve adição de aditivos), esses resultados indicam que os processos de secagem e as condições de processo utilizadas não afetaram significativamente o comportamento de sorção de umidade do pulmão seco.

Brunauer et al. (1940) classificaram as isotermas de sorção em cinco tipos gerais. De acordo com essa classificação, as curvas de sorção obtidas neste estudo e expressas na Figura 18 apresentam um formato sigmoide do tipo II. Esse padrão é caracterizado por um aumento gradual no teor de umidade em atividades de água baixa, seguido por um aumento acentuado em atividades de água mais elevadas. Da Silva et al. (2022) relataram que o modelo de GAB também foi eficaz em prever o comportamento de sorção de umidade em rações para animais de estimação. Além disso, os autores também observaram isotermas do tipo II para os *pet foods*, caracterizadas por um aumento gradual no teor de umidade em atividades de água baixa, seguido por um aumento acentuado em atividades de água alta. Este padrão sigmoide é típico de materiais que exibem alta afinidade inicial pela água, seguida por uma fase de adsorção capilar em atividades de água mais altas.

Assim como Silva et al. (2022) destacaram a importância de estudos de isotermas de adsorção para otimização da segurança alimentar e condições de processamento, os resultados desta pesquisa têm implicações práticas significativas. A compreensão das isotermas de sorção de umidade do pulmão suíno desidratado pode contribuir para a formulação de rações animais mais estáveis, no uso de embalagens adequadas e nas condições corretas de armazenamento do produto.

No menu Inserir, as galerias incluem itens que são projetados para corresponder à aparência geral do documento. Você pode usar essas galerias para inserir tabelas, cabeçalhos, rodapés, listas, folhas de rosto e outros blocos de construção do documento. Quando você cria imagens, gráficos ou diagramas, esses elementos também são coordenados com a aparência atual do documento.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que é viável secar pulmão suíno utilizando tanto secagem convectiva em estufa quanto o método *cast-tape drying*. As amostras de pulmão suíno, tanto frescas quanto secas, apresentaram propriedades importantes em relação à composição centesimal, indicando que os métodos de secagem empregados preservam características nutricionais essenciais. Comparando ambos os métodos, umidades de 10% ou inferiores foram obtidas em menores tempos no *cast-tape drying*. Além disso, houve maior retenção de pigmentos heme totais e ferro heme quando empregado o método de secagem por *cast-tape drying*. A análise de cor revelou que a secagem convectiva resultou em produtos mais escuros, enquanto o método *cast-tape drying* preservou melhor a cor vermelha característica, refletindo maior retenção de pigmentos heme. A textura instrumental foi fortemente influenciada pela interação de todas as variáveis do experimento. A análise de higroscopicidade indicou que pulmões secos a 80 e 90°C em todas as espessuras na secagem convectiva e 90°C com 5 mm de espessura na secagem em *cast-tape drying* foram mais higroscópicas do que as demais condições, indicando menor higroscopicidade obtida pelo método de secagem por *cast-tape drying*.

Este estudo traz uma perspectiva promissora para o melhor aproveitamento do pulmão suíno na alimentação animal e espera-se que esta víscera desidratada possa se consolidar como um *snack* mastigável de alta qualidade para o mercado *pet food*, contribuindo para a valorização dos subprodutos da indústria da carne e promovendo uma abordagem mais sustentável e eficiente na utilização dos recursos disponíveis.

REFERÊNCIAS

AAFCO. Official publication. Champaign, IL: Association of American Feed Control Officials, 2016.

ABINPET, Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. Manual Pet Food Brasil. 10. ed. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2020/05/manual_pet_food_ed10_completo_digital.pdf> Acesso em 03 de maio de 2023.

ABINPET, Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. Mercado Pet Brasil 2023. Disponível em: <https://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2023/03/abinpet_folder_dados_mercado_2023_draft1_incompleto_web.pdf> Acesso em 03 de maio de 2023.

ABONYI, B. I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C. G.; CHEW, B. P.; MATTINSON, D. S.; FELLMAN, J. K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. Journal of Food Science, v. 67, n. 2, p. 1051-1056, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal - Relatório Anual 2023. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf>>

AKSOY, A.; KARASU, S.; AKCICEK, A.; KAYACAN, S. Effects of different drying methods on drying kinetics, microstructure, color, and the rehydration ratio of minced meat. Foods, v. 8, n. 6, p. 216, 2019. <https://doi.org/10.3390/foods8060216>

ALAO, B. O.; FALOWO, A. B.; CHULAYO, A.; MUCHENJE, V. The potential of animal by-products in food systems: Production, prospects and challenges. Sustainability, v. 9, n. 7, p. 1089, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9071089>

ALMEIDA, E. C. DE; BISPO, L. C. D.; DIAS, F. J. DOS S.; LOPES, K. L. DE A. M.; VALENTE, A. L. DA S. Bem-estar e manejo pré-abate de suínos: Revisão. Pubvet, v. 10, n. 11, 2016. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n11.804-815>

ANZANI, C.; BOUKID, F.; DRUMMOND, L.; MULLEN, A. M.; ÁLVAREZ, C. Optimising the use of proteins from rich meat co-products and non-meat alternatives: Nutritional, technological and allergenicity challenges. Food Research International, v. 137, p. 109575, 2020.

AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 19. ed. Gaithersburg, MD, USA: Association of Official Analytical Chemists; 2012.

APTEKMANN, K. P.; MENDES-JUNIOR, A. F.; SUHETT, W. G.; GUBERMAN, U. C. Manejo nutricional de cães e gatos domiciliados no estado do Espírito Santo-Brasil. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 65, p. 455-459, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000200022>

ARCHUNDIA-HERRERA, M. C.; NUNES, F.; BARRIOS, I. D.; PARK, C. Y.; BELL, R. C.; O'BRIEN, K. O. Development of a Database for the Estimation of Heme Iron and Nonheme Iron Content of Animal-Based Foods. Current Developments in Nutrition, v. 8, n. 4, p. 102130, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.102130>

ARSLAN-TONTUL, Sultan. Moisture sorption isotherm, isosteric heat and adsorption surface area of whole chia seeds. Lwt, v. 119, p. 108859, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108859>

AXELSSON, E.; RATNAKUMAR, A.; ARENDT, M. L.; MAQBOOL, K.; WEBSTER, M. T.; PERLOSKI, M.; LIBERG, O.; ARNEMO, J. M.; HEDHAMMAR, A.; LINDBLAD-TOH, K. The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. Nature, v. 495, n. 7441, p. 360-364, 2013. <https://doi.org/10.1038/nature11837>

BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M. Evaluation of a batch refractance window dryer in drying of some heat sensitive food stuff. 2015.

BAEGHBALI, Vahid; NIAKOUSARI, Mehrdad. A review on mechanism, quality preservation and energy efficiency in Refractance Window drying: a conductive hydro-drying technique. Journal of Nutrition, Food Research and Technology, v. 1, n. 2, p. 50-54, 2018. <https://doi.org/10.30881/jnfrt.00011>

BARONCELLO, S.; CANDIAGO, N. T.; GELINSKI, J. M. L. N.; CALIARI, V.; BARATTO, C. M. Meat Pet Snacks By Containing Encapsulated *Saccharomyces Boulardii*. European Journal of Agriculture and Food Sciences, v. 2, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2020.2.4.69>

BAŞER, Özgür; YALÇIN, Sakine. Determination of some quality characteristics in pet foods. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, v. 64, n. 1, p. 21-24, 2017. https://doi.org/10.1501/Vetfak_0000002768

BAŞLAR, M.; KILIÇLI, M.; YALINKILIÇ, B. Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. Ultrasonics sonochemistry, v. 27, p. 495-502, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.06.018>

BASU, S.; SHIVHARE, U. S.; MUJUMDAR, A. S. Models for sorption isotherms for foods: A review. Drying technology, v. 24, n. 8, p. 917-930, 2006. <https://doi.org/10.1080/07373930600775979>

BAUER, J. E. Facilitative and functional fats in diets of cats and dogs. Journal of the American Veterinary Medical Association, v. 229, n. 5, p. 680-684, 2006. <https://doi.org/10.2460/javma.229.5.680>

BERNAERT, N.; VAN DROOGENBROECK, B.; VAN PAMEL, E.; DE RUYCK, H. Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during

processing. Trends in Food Science & Technology, v. 84, p. 22-24, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.029>

BEZERRA, C. V. et al. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 85, p. 750–755, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.02.027>

BIEL, W.; CZERNIAWSKA-PIĄTKOWSKA, E.; KOWALCZYK, A. Offal chemical composition from veal, beef, and lamb maintained in organic production systems.

Animals, v. 9, n. 8, p. 489, 2019. <https://doi.org/10.3390/ani9080489>

BODRUK, Anil et al. Effect of pre-drying methods on the quality aspects of explosive puffed dried beef snack. Journal of Food Process Engineering, v. 46, n. 6, p. e14347, 2023. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14347>

BOSCH, G.; HAGEN-PLANTINGA, E. A.; HENDRIKS, W. H. Dietary nutrient profiles of wild wolves: insights for optimal dog nutrition?. British Journal of Nutrition, v. 113, n. S1, p. S40-S54, 2015. <https://doi.org/10.1017/S0007114514002311>

Box, G. E.; Hunter, J. S.; Hunter, W. G. Statistics for experimenters. In: Wiley series in probability and statistics. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 711, de 1º de novembro de 1995. Aprova as Normas Técnicas de Instalações e Equipamentos para Abate e Industrialização de Suínos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 nov. 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução Normativa n.º 9, de 9 de julho de 2003.

Regulamento Técnico sobre Fixação de Padrões de Identidade e Qualidade de Alimentos Completos e de Alimentos Especiais Destinados a Cães e Gatos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 jul. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA). Brasília, DF: MAPA, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/sisbi-1/sisbi>\> Acesso em: 03 maio 2023.

BRASIL. Portaria Nº 365, de 16 de julho de 2021. Aprova o Regulamento Técnico de Manejo Pré-abate e Abate Humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, jul. 2021.

BRAY, G. A.; PAERATAKUL, S.; POPKIN, B. M. Dietary fat and obesity: a review of animal, clinical and epidemiological studies. *Physiology & behavior*, v. 83, n. 4, p. 549-555, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2004.08.039>

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. On a theory of the van der Waals adsorption of gases. *Journal of the American Chemical society*, v. 62, n. 7, p. 1723-1732, 1940. <https://doi.org/10.1021/ja01864a025>

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American chemical society*, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938. <https://doi.org/10.1021/ja01269a023>

BUCHOWSKI, M. S.; MAHONEY, A. W.; CARPENTER, C. E.; CORNFORTH, D. P. Heating and the distribution of total and heme iron between meat and broth. *Journal of Food Science*, v. 53, n. 1, p. 43-45, 1988. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb10174.x>

BUFF, P. R.; CARTER, R. A.; BAUER, J. E.; KERSEY, J. H. Natural pet food: A review of natural diets and their impact on canine and feline physiology. *Journal of*

animal science, v. 92, n. 9, p. 3781-3791, 2014. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7789>

BULGARU, V.; POPESCU, L.; NETREBA, N.; GHENDOV-MOSANU, A.; STURZA, R. Assessment of quality indices and their influence on the texture profile in the dry-aging process of beef. Foods, v. 11, n. 10, p. 1526, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11101526>

BUZAŁA, M.; SŁOMKA, A.; JANICKI, B. 2016. Heme iron in meat as the main source of iron in the human diet. J. Elem., 21(1) 303-314, 2016. DOI: 10.5601/jelem.2015.20.1.850

CAI, Yi-Zhong; CORKE, Harold. Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. Journal of food science, v. 65, n. 7, p. 1248- 1252, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>

CARPENTER, C. E.; CLARK, E. Evaluation of methods used in meat iron analysis and iron content of raw and cooked meats. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 43, n. 7, p. 1824-1827, 1995. <https://doi.org/10.1021/jf00055a014>

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 51, 2010.

CHAVEZ-JAUREGUI, R.N.; CARDOSO-SANTIAGO, R.A.; SILVA, M.E.; ARÊAS, J.A. Acceptability of snacks produced by the extrusion of amaranth and blends of chickpea and bovine lung. International Journal of Food Science & Technology, v. 38, p. 795–798, 2003. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00734.x>

CHEN, C. C.; PEARSON, A. M.; GRAY, J. I.; FOOLADI, M. H.; KU, P. K. Some factors influencing the nonheme iron content of meat and its implications in oxidation. Journal of Food Science, v. 49, n. 2, p. 581-584, 1984. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb12473.x>

CHEN, M.; CHEN, T.; QI, X., LU, D.; CHEN, B. Analyzing changes of volatile components in dried pork slice by gas chromatography-ion mobility spectroscopy. *CyTA-Journal of Food*, v. 18, n. 1, p. 328-335, 2020.

<https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1752805>

CLARK, Eli M.; MAHONEY, Arthur W.; CARPENTER, Charles E. Heme and total iron in ready-to-eat chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 45, n. 1, p. 124-126, 1997. <https://doi.org/10.1021/jf960054l>

COULTHART, J. Pet Product Sector in New Zealand. 2004.

CROSS, A. J.; HARNLY, J. M.; FERRUCCI, L. M., RISCH, A.; MAYNE, S. T.; SINHA, R. Developing a heme iron database for meats according to meat type, cooking method and doneness level. *Food and nutrition sciences (Print)*, v. 3, n. 7, p. 905, 2012. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.37120>

DA FONSECA, M. da C. P.; SALAY, E. Beef, chicken and pork consumption and consumer safety and nutritional concerns in the City of Campinas, Brazil. *Food Control*, v. 19, n. 11, p. 1051-1058, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.11.003>

DA SILVA, M. U.; SATO, J.; RIBEIRO, P. M.; JANEIRO, V.; RIBEIRO, L. B.; VASCONCELLOS, R. S. Modeling moisture adsorption isotherms for extruded dry pet foods. *Animal Feed Science and Technology*, v. 290, p. 115318, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115318>

DADMOHAMMADI, Younas; DATTA, Ashim K. Food as porous media: a review of the dynamics of porous properties during processing. *Food Reviews International*, v. 38, n. 5, p. 953-985, 2022. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1761376>

DARINE, S.; CHRISTOPHE, V.; GHOLAMREZA, D. Emulsification properties of proteins extracted from beef lungs in the presence of xanthan gum using a

continuous rotor/stator system. LWT-Food Science and Technology, v. 44, n. 4, p. 1179-1188, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.025>

DARINE, S.; CHRISTOPHE, V.; GHOLAMREZA, D. Production and functional properties of beef lung protein concentrates. Meat Science, v. 84, n. 3, p. 315-322, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.03.007>

DELGADO, Adriana E.; SUN, Da-Wen. Desorption isotherms and glass transition temperature for chicken meat. Journal of food engineering, v. 55, n. 1, p. 1-8, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00222-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00222-9)

DEV, S. R. S; RAGHAVAN, V. G. S. Advancements in drying techniques for food, fiber, and fuel. Drying Technology, v. 30, n. 11-12, p. 1147-1159, 2012. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.692747>

DEVATKAL, S.; MENDIRATTA, S.K.; KONDAIAH, N.; SHARMA, M.C.; ANJANEYULU, A. S. Physicochemical, functional and microbiological quality of buffalo liver. Meat Science, v. 68, n. 1, p. 79-86, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.006>

DI CERBO, A.; MORALES-MEDINA, J. C.; PALMIERI, B.; PEZZUTO, F.; COCCO, R.; FLORES, G.; IANNITTI, T. Functional foods in pet nutrition: Focus on dogs and cats. Research in veterinary science, v. 112, p. 161-166, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.03.020>

DJEKIC, I.; ILIC, J.; LORENZO, J. M.; TOMASEVIC, I. How do culinary methods affect quality and oral processing characteristics of pork ham?. Journal of Texture Studies, v. 52, n. 1, p. 36-44, 2021. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12557>

DONADELLI, R. A.; JONES, C. K.; BEYER, R. S. The amino acid composition and protein quality of various egg, poultry meal by-products, and vegetable proteins used in the production of dog and cat diets. Poultry science, v. 98, n. 3, p. 1371-1378, 2019. <https://doi.org/10.3382/ps/pey462>

FAO. 2020. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb1447en>

FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDO, W. J. N.; LOW, H. C.; AHMAD, A. L. Dependence of the effective diffusion coefficient of moisture with thickness and temperature in convective drying of sliced materials. A study on slices of banana, cassava and pumpkin. Journal of Food Engineering, v. 102, p. 310–316, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.004>

FLOREK, M.; LITWIŃCZUK, Z.; SKAŁECKI, P.; KĘDZIERSKA-MATYSEK, M.; GRODZICKI, T. Chemical composition and inherent properties of offal from calves maintained under two production systems. Meat science, v. 90, n. 2, p. 402-409, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.08.007>

FRANCO, S. et al. Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance window™: Effect on diffusion behavior, texture, and color changes. Innovative food science & emerging technologies, v. 52, p. 8-16, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.001>

FRANKLIN, A.; WHITE, R. Animals and modernity: changing human–animal relations, 1949–98. Journal of sociology, v. 37, n. 3, p. 219-238, 2001.

<https://doi.org/10.1177/144078301128756319>

GARCÍA-ALVARADO, M. A.; PACHECO-AGUIRRE, F. M.; RUIZ-LÓPEZ, I. I. Analytical solution of simultaneous heat and mass transfer equations during food drying. Journal of Food Engineering, v. 142, p. 39-45, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.001>

GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; GIMÉNEZ, B.; LÓPEZ-CABALLERO, M. A.; MONTERO, M. P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative

sources: A review. Food hydrocolloids, v. 25, n. 8, p. 1813-1827, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. Journal of Food Engineering, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.015>

HAN, D.; MCMILLIN, K. W.; GODBER, J. S.; BIDNER, T. D.; YOUNATHAN, M. T.; MARSHALL, D. L.; HART, L. T. Iron distribution in heated beef and chicken muscles. Journal of Food Science, v. 58, n. 4, p. 697-700, 1993. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09337.x>

HE, Fei; HOLBEN, Grace; DE GODOY, Maria R. C. Evaluation of selected categories of pet treats using in vitro assay and texture analysis. Translational Animal Science, v. 4, n. 2, p. 1023-1030, 2020. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa064>

HENCHION, M.; MCCARTHY, M.; O'CALLAGHAN, J. Transforming beef by-products into valuable ingredients: Which spell/recipe to use?. Frontiers in Nutrition, v. 3, p. 53, 2016. <https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00053>

HERNÁNDEZ-SANTOS, Betsabé et al. Evaluation of physical and chemical properties of carrots dried by Refractance Window drying. Drying Technology, v. 34, n. 12, p. 1414-1422, 2016. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1118705>

HÖTZEL, M. J.; VANDRESEN, B. Brazilians' attitudes to meat consumption and production: Present and future challenges to the sustainability of the meat industry. Meat Science, v. 192, p. 108893, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108893>

HÖTZEL, M. J.; YUNES, M. C.; VANDRESEN, B.; ALBERNAZ-GONÇALVES, R.; WOODROFFE, R. E. On the road to end pig pain: Knowledge and attitudes of

brazilian citizens regarding castration. *Animals*, v. 10, n. 10, p. 1826, 2020.

<https://doi.org/10.3390/ani10101826>

HUNGERFORD, J. M. Fish and other marine products. In: ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis. Washington, cap. 35, p. 1-30, 1995.

IGENE, J. O.; KING, J. A.; PEARSON, A. M.; GRAY, J. I. Influence of heme pigments, nitrite, and nonheme iron on development of warmed-over flavor (WOF) in cooked meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 27, n. 4, p. 838-842, 1979. <https://doi.org/10.1021/jf60224a052>

JAYATHILAKAN, K. et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of food science and technology*, v. 49, n. 3, p. 278-293, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>

JAYAWARDENA, S. R.; MORTON, J. D.; BEKHIT, A. E. D. A.; BHAT, Z. F.; BRENNAN, C. S. Effect of drying temperature on nutritional, functional and pasting properties and storage stability of beef lung powder, a prospective protein ingredient for food supplements. *LWT*, v. 161, p. 113315, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113315>

JAYAWARDENA, S. R.; MORTON, J. D.; BRENNAN, C. S.; BEKHIT, A. E. Utilization of beef lung protein powder as a functional ingredient to enhance protein and iron content of fresh pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 54, n. 3, p. 610-618, 2019. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13927>

KARADBHAJNE, S. V.; THAKARE, V. M.; KARDILE, N. B.; THAKRE, S. M. Refractance window drying: An innovative drying technique for heat sensitive product. *Int J Recent Technol Eng*, v. 8, n. 4, p. 1765-1771, 2019. HUNGERFORD, J. M. Fish and other marine products. In: ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. Official methods of analysis. Washington, cap. 35, p. 1-30, 1995.

IGENE, J. O.; KING, J. A.; PEARSON, A. M.; GRAY, J. I. Influence of heme pigments, nitrite, and nonheme iron on development of warmed-over flavor (WOF) in cooked meat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 27, n. 4, p. 838-842, 1979. <https://doi.org/10.1021/jf60224a052>

JAYATHILAKAN, K. et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of food science and technology*, v. 49, n. 3, p. 278-293, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>

JAYAWARDENA, S. R.; MORTON, J. D.; BEKHIT, A. E. D. A.; BHAT, Z. F.; BRENNAN, C. S. Effect of drying temperature on nutritional, functional and pasting properties and storage stability of beef lung powder, a prospective protein ingredient for food supplements. *LWT*, v. 161, p. 113315, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113315>

JAYAWARDENA, S. R.; MORTON, J. D.; BRENNAN, C. S.; BEKHIT, A. E. Utilization of beef lung protein powder as a functional ingredient to enhance protein and iron content of fresh pasta. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 54, n. 3, p. 610-618, 2019. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13927>

KARADBHAJNE, S. V.; THAKARE, V. M.; KARDILE, N. B.; THAKRE, S. M. Refractance window drying: An innovative drying technique for heat sensitive product. *Int J Recent Technol Eng*, v. 8, n. 4, p. 1765-1771, 2019. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C6091.118419>

KIM, J. H. et al. Characterization of nutritional value for twenty-one pork muscles. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 21, n. 1, p. 138-143, 2008. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70208>

KIM, S.; KANG, I.; LEE, J. W.; JEON, C. O.; GIOVANNONI, S. J.; CHO, J. C. Heme auxotrophy in abundant aquatic microbial lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 118, n. 47, p. e2102750118, 2021. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102750118>

KONGKACHUICHA, R.; NAPATTHALUNG, P.; CHAROENSIRI, R. Heme and nonheme iron content of animal products commonly consumed in Thailand. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 15, n. 4, p. 389-398, 2002.

<https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1080>

KURT, Ş.; ZORBA, Ö. Emulsion characteristics of beef and sheep offal. *Journal of Muscle Foods*, v. 18, n. 2, p. 129-142, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2007.00072.x>

LABUZA, T. P.; ALTUNAKAR, B. Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms, 109-154. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, IFT Press, Blackwell Publishing Ltd, 2007. <https://doi.org/10.1002/9780470376454.ch5>

LARSON, C. China's skyrocketing (pet) population. *Bloomberg BusinessWeek*, 2014.

LAWRIE, R., A.; LEDWARD, D., A. *Lawrie's Meat Science*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2006. <https://doi.org/10.1533/9781845691615>

LEE, S.; CHOI, A.; PARK, K. H.; LEE, S.; YOON, H.; KIM, P. Single-cell hemoprotein (heme-SCP) exerts the prebiotic potential to establish a healthy gut microbiota in small pet dogs. *Food Science and Biotechnology*, v. 32, n. 4, p. 489-496, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01195-9>

LEE, S.; CHOI, Y. S.; JO, K.; JEONG, H. G.; YONG, H. I.; KIM, T. K.; JUNG, S. Processing characteristics of freeze-dried pork powder for meat emulsion gel. *Food Science of Animal Resources*, v. 41, n. 6, p. 997, 2021. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e51>

LITTLEDIKE, E. T.; WITTUM, T. E.; JENKINS, T. G. Effect of breed, intake, and carcass composition on the status of several macro and trace minerals of adult beef cattle. *Journal of animal science*, v. 73, n. 7, p. 2113-2119, 1995. <https://doi.org/10.2527/1995.7372113x>

LÓPEZ, M. A. A.; MARTOS, F. C. Iron availability: An updated review. *International journal of food sciences and nutrition*, v. 55, n. 8, p. 597-606, 2004.

<https://doi.org/10.1080/09637480500085820>

LYNCH, S. A.; MULLEN, A. M.; O'NEILL, E.; DRUMMOND, L.; ÁLVAREZ, C. Opportunities and perspectives for utilisation of co-products in the meat industry.

Meat Science, v. 144, p. 62-73, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.019>

MACHADO, S.T.; DE ALENCAR NÄÄS, I.; REIS, J. G. M.; VENDRAMETTO, O. Brazilian Consumers' Preference towards Pork. In: *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part II*. Springer Berlin Heidelberg, 2014. p. 54-61.

MAGOON, R. E. Method and apparatus for drying fruit pulp and the like. United States Patent. No 4.631.837. 30.12.1986.

MAHANTI, Naveen Kumar et al. Refractance Window™-Drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. *Future Foods*, v. 3, p. 100024, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100024>

MARTI, D. L.; JOHNSON, R. J.; MATHEWS JR, K. H. Where's the (not) meat? Byproducts from beef and pork production. *Journal of Current Issues in Globalization*, v. 5, n. 4, p. 397, 2012.

MAZON, M. S.; MOURA, W. G. Cachorros e humanos: mercado de rações pet em perspectiva sociológica. *Civitas - Revista de Ciências Sociais*, v. 17, p. 138-158, 2017. <https://doi.org/10.15448/1984-7289.2017.1.25292>

McCABE, W.L.; SMITH, J. Unit operation in chemical engineering. 7. ed. New York: McGraw Hill, 2005.

MOKRZYCKI, W. S.; TATOL, Maciej. Colour difference ΔE survey. Mach. Graph. Vis, v. 20, n. 4, p. 383-411, 2011.

MOLENTO, C. F. M. Bem-estar e produção animal: Aspectos econômicos - Revisão. Archives of Veterinary Science, 10, 1-11, 2005.
<https://doi.org/10.5380/avs.v10i1.4078>

MONTEGIOVE, N.; PELLEGRINO, R.M.; EMILIANI, C.; PELLEGRINO, A.; LEONARDI, L. An Alternative Approach to Evaluate the Quality of Protein-Based Raw Materials for Dry Pet Food. Animals, v. 11, n. 2, p. 458, 2021.
<https://doi.org/10.3390/ani1102045>

MORA, L.; REIG, M.; TOLDRÁ, F. Bioactive peptides generated from meat industry by-products. Food Research International, v. 65, p. 344-349, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.014>

MOSES, J. A.; NORTON, T.; ALAGUSUNDARAM, K.; TIWARI, B. K. Novel drying techniques for the food industry. Food Engineering Reviews, v. 6, p. 43-55, 2014.
<https://doi.org/10.1007/s12393-014-9078-7>

MUJUMDAR, A. S. Principles, Classification and Selection of Dryers. In: MUJUMDAR, A.S. Handbook of Industrial Drying, 3a Ed., p. 4-31, 2007.

MUJUMDAR, A. S.; HUANG, L. X. Global R&D needs in drying. Drying Technology, v. 25, n. 4, p. 647-658, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930701285886>

MULLEN, A. M.; ÁLVAREZ, C. Offal: Types and composition. Academic Press, United Kingdom, The Encyclopedia of Food and Health, p. 152-157, 2016.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00501-8>

MULLEN, A. M.; ÁLVAREZ, C.; ZEUGOLIS, D. I.; HENCHION, M.; O'NEILL, E.; DRUMMOND, L. Alternative uses for co-products: Harnessing the potential of

valuable compounds from meat processing chains. Meat Science, v. 132, p. 90-98, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.243>

Myers, R. H. Response surface methodology. Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, VA, 1976.

NEILL, H. R.; GILL, C. I. R.; MCDONALD, E. J.; MCROBERTS, W. C.; LOY, R.; POURSHAHIDI, L. K. Impact of cooking on vitamin D3 and 25 (OH) D3 content of pork products. Food Chemistry, v. 397, p. 133839, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133839>

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. Drying technology, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>

NINDO, C.I.; FENG, H.; SHEN, G.Q.; TANG, J.; D.H. KANG, D.H. Energy utilization and microbial reduction in a new film drying system. Journal of Food Processing and Preservation, v. 27, p. 117-136, 2003. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00506.x>

NOLLET, M. L.; TOLDRA, F. (Ed.). Handbook of analysis of edible animal by-products. CRC Press, 2011. <https://doi.org/10.1201/b10785>

Novasina. Water activity in pet foods. Ed:11-2011, Novasina AG, Switzerland, 2011.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. Nutrient requirements of dogs and cats. National Academies Press, 2006.

OCKERMAN, H. W.; BASU, L. Production and consumption of fermented meat products. Handbook of fermented meat and poultry, p. 7-11, 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118522653.ch2>

ONU, Organization United nations. Department of economic and social affairs The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2019. Disponível em:
https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Methodology.pdf Acesso em: 25 de nov. de 2021.

ORTIZ-JEREZ, M.J.; GULATI, T.; DATTA, A. K.; OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. Quantitative understanding of refractance window™ drying. Food and Bioproducts Processing. v. 95, p. 237-253, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010>

OZBEKOVA, Zh E.; ABDYLDAEV, A. A.; KULMYRZAEV, A. A. Study of relations between chemical, colour and fluorescence properties of raw and dried meat powders of cow and yak (*Bos grunniens*). Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 306, p. 123610, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123610>

PALUMBO, F.; SCARIOLO, F.; VANNOZZI, A.; BARCACCIA, G. NGS-based barcoding with mini-COI gene target is useful for pet food market surveys aimed at mislabelling detection. Scientific Reports, v. 10, p. 17767, 2020.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74918-9>

PAULY, A.; PAREYT, B.; LAMBRECHT, M. A.; FIERENS, E.; DELCOUR, J. A. Flour from wheat cultivars of varying hardness produces semi-sweet biscuits with varying textural and structural properties. LWT-Food Science and Technology, v. 53, n. 2, p. 452-457, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.014>

PETIT, T.; CARO, Y.; PETIT, A. S.; SANTCHURN, S. J; COLLIGNAN, A. Physicochemical and microbiological characteristics of biltong, a traditional salted dried meat of South Africa. Meat science, v. 96, n. 3, p. 1313-1317, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.003>

PLANTINGA, E. A.; BOSCH, G.; HENDRIKS, W. H. Estimation of the dietary nutrient profile of free-roaming feral cats: possible implications for nutrition of domestic cats.

British Journal of Nutrition, v. 106, n. S1, p. S35-S48, 2011.

<https://doi.org/10.1017/S0007114511002285>

POPPI, Amanda Camila de Oliveira et al. Nutritional evaluation and palatability of pet biscuits for dogs. Brazilian Journal of Food Technology, v. 26, p. e2022132, 2023.

<https://doi.org/10.1590/1981-6723.13222>

PRETORIUS, B.; SCHÖNFELDT, H. C.; HALL, N. Total and haem iron content lean meat cuts and the contribution to the diet. Food chemistry, v. 193, p. 97-101, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.109>

RAGHAVI, L. M.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Refractance window drying of foods: A review. Journal of Food Engineering, v. 222, p. 267-275, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032>

RAHMAN, M. S. Drying of Fish and Seafood. In: Mujumdar, A. S. Handbook of Industrial Drying. 3. ed. CRC Press, p. 547-559, 2007.

RAHMAN, Mohammad Shafiur et al. Microbial and physico-chemical characteristics of dried meat processed by different methods. International Journal of Food Engineering, v. 1, n. 2, 2005. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1016>

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias. 2. ed. Viçosa: UFV, p. 164 - 269, 2017.

RIVERA, J. A.; SEBRANEK, J. G.; RUST, R. E.; TABATABAI, L. B. Composition and protein fractions of different meat by-products used for pet food compared with mechanically separated chicken (MSC). Meat science, v. 55, n. 1, p. 53-59, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00125-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00125-4)

ROBERT, N. V.; ADRIAN, R. Characteristics of meat and bone meal used as animal feed (pet food). Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series), v. 24, n. 2, 2014.

ROSTAMI, H.; DEHNAD, D.; JAFARI, S. M.; TAVAKOLI, H. R. Evaluation of physical, rheological, microbial, and organoleptic properties of meat powder produced by Refractance Window drying. *Drying Technology*, v. 36, n. 9, p. 1076-1085, 2018. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1377224>

SA-ADCHOM, P.; SWASDISEVI, T.; NATHAKARANAKULE, A.; SOPONRONNARIT, S. I. Drying kinetics using superheated steam and quality attributes of dried pork slices for different thickness, seasoning and fibers distribution. *Journal of Food Engineering*, v. 104, n. 1, p. 105-113, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.002>

SAAD, F. M. de O. B.; FRANÇA, J. Natural foods for dogs and cats. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 52-59, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300007>

SANTOS, F.S.; SILVA, E.B.; ZBRUN, M.V.; ABREU, V.K.G.; GIAMPIETRO, V.; MORAES, G.H.K. Caracterização de resíduos de abate de suínos e alternativas para seu aproveitamento. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 18, n. 2, p. 167-176, 2019.

SCHRICKER, B. R.; MILLER, D. D. Effects of cooking and chemical treatment on heme and nonheme iron in meat. *Journal of Food Science*, v. 48, n. 4, p. 1340- 1343, 1983. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb09225.x>

SCHUCK, Pierre; JEANTET, Romain; DOLIVET, Anne. Analytical methods for food and dairy powders. John Wiley & Sons, 2012. <https://doi.org/10.1002/9781118307397>

SELMANE, D.; CHRISTOPHE, V.; GHOLAMREZA, D. Extraction of proteins from slaughterhouse by-products: Influence of operating conditions on functional properties. *Meat Science*, v. 79, n. 4, p. 640-647, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.10.029>

SEONG, P. N. et al. Characterization of edible pork by-products by means of yield and nutritional composition. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, v. 34, n. 3, p. 297, 2014. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.3.297>

SHRESTHA, A. K.; HOWES, T.; ADHIKARI, B. P.; BHANDARI, B. R. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. LWT-Food Science and Technology, v. 40, n. 9, p. 1593-1600, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.003>

SIRIMARK, Penpark et al. Comparison of efficiency between liquefied petroleum gas (LPG) and electric hot air dryer: case study of dried pork slice. CyTA-Journal of Food, v. 21, n. 1, p. 181-188, 2023. <https://doi.org/10.1080/19476337.2023.2174603>

SMITH, J. E. Iron metabolism and its diseases. In: KANEKO, J. J.; HARVEY, J. W.; BRUSS, M. L. Clinical biochemistry of domestic animals. New York: Academic Press, p. 223-240, 1997.

SWANSON, K. S.; CARTER, R. A.; YOUNT, T. P.; ARETZ, J.; BUFF, P. R. Nutritional sustainability of pet foods. Advances in Nutrition, v. 4, n. 2, p. 141-150, 2013. <https://doi.org/10.3945/an.112.003335>

TANIGUCHI, Chad N.; DOBBS, Joannie; DUNN, Michael A. Heme iron, non-heme iron, and mineral content of blood clams (*Anadara* spp.) compared to Manila clam (*V. philippinarum*), Pacific oysters (*C. gigas*), and beef liver (*B. taurus*). Journal of Food Composition and Analysis, v. 57, p. 49-55, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.018>

THOMPSON, A. Ingredients: where pet food starts. Top. Companion Anim. Med. 23, 127–132, 2008. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.04.004>

TIMMONS, R. A. Water activity as a tool for predicting and controlling the stability of pet food. 161-168. 2006.

TOLDRÁ, F.; ARISTOY, M. C.; MORA, L.; REIG, M. Innovations in value-addition of edible meat by-products. *Meat science*, v. 92, n. 3, p. 290-296, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.004>

TOLDRÁ, F.I.; MORA, L.; REIG, M. New insights into meat by-product utilization. *Meat science*, v. 120, p. 54-59, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.021>

TOMÓVIC, V.; JOKANOVIC, M.; SOJIC, B.; SKALJAC, S.; TASIC, T.; IKONIC, P. Minerals in pork meat and edible offal. *Procedia food science*, v. 5, p. 293-295, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.083>

TONTUL, İ.; ERGIN, F.; EROĞLU, E.; KÜÇÜKÇETİN, A.; TOPUZ, A. Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. *International Dairy Journal*, v. 85, p. 169-176, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002>

UENGKIMBUAN, N.; SOPONRONNARIT, S.; PRACHAYAWARAKORN, S.; NATHKARANAKULE, A. A comparative study of pork drying using superheated steam and hot air. *Drying Technology*, v. 24, n. 12, p. 1665-1672, 2006.

<https://doi.org/10.1080/07373930601031513>

USDA. Livestock and poultry: World markets and trade (F. A. S. United States Department of Agriculture, Trans.) United States Department of Agriculture, Washington, DC, p. 29, 2022.

VANDRESEN, B.; HÖTZEL, M. J. Pets as family and pigs in crates: Public attitudes towards farrowing crates. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 236, p. 105254, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105254>

VERNOOIJ, A. The return of animal by-products is the carcass valuation in the meat industry Reversing? Rabobank International, p. 1-8, 2012.

VIANA, L. M.; MOTHÉ, C. G.; MOTHÉ, M. G. Natural food for domestic animals: A national and international technological review. *Research in veterinary science*, v. 130, p. 11-18, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.02.008>

VIEIRA, C.; DIAZ, M. T.; MARTÍNEZ, B.; GARCÍA-CACHÁN, M. D. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. *Meat science*, v. 83, n. 3, p. 398-404, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.013>

WANI, Sajad Ahmad; KUMAR, Pradyuman. Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. *LWT*, v. 74, p. 448-455, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.005>

WARRIS, P.D.; BROWN, S.N. Bem-estar de suínos e qualidade da carne: uma visão Britânica. In: CONFERÊNCIA VIRTUAL INTERNACIONAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA. Anais. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, p.17-20, 2000.

WEIJS, P. J.; CYNOBER, L.; DELEGGE, M.; KREYMANN, G.; WERNERMAN, J.; WOLFE, R. R. Proteins and amino acids are fundamental to optimal nutrition support in critically ill patients. *Critical care*, v. 18, n. 6, p. 1-13, 2014. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0591-0>

XU, L.; CHENG, J. R.; LIU, X. M.; ZHU, M. J. Effect of microencapsulated process on stability of mulberry polyphenol and oxidation property of dried minced pork slices during heat processing and storage. *Lwt*, v. 100, p. 62-68, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.025>

ZICKER, S.C. Evaluating Pet Foods: How Confident Are You When You Recommend a Commercial Pet Food? *Top. Companion Anim. Med.* 23, 121–126, 2008. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.04.003>

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. Food Research International, v. 69, p. 410–417, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>

ZOTARELLI, Marta Fernanda; PORCIUNCULA, Barbara Daniela Almeida; LAURINDO, João Borges. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. Journal of Food Engineering, v. 108, n. 4, p. 523-531, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.014>