



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



Mariaine Amaral Pereira

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO PULMÃO SUÍNO
DESIDRATADO EM AIR-FRYER: POTENCIAL USO COMO INGREDIENTE EM
ALIMENTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO (*PET FOODS*)

Patos de Minas

2024

MARIAINE AMARAL PEREIRA

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO PULMÃO SUÍNO
DESIDRATADO EM AIR-FRYER: POTENCIAL USO COMO INGREDIENTE EM
ALIMENTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO (*PET FOODS*)

Projeto Final de Curso apresentado à Faculdade
de Engenharia Química da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Marieli de Lima

Coorientadora: Marta Fernanda Zotarelli

Patos de Minas

2024

MARIAINE AMARAL PEREIRA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO Nº 112

MARIAINE AMARAL PEREIRA

**Avaliação das propriedades físico-químicas do pulmão suíno desidratado em *air-fryer*:
potencial uso como ingrediente em alimentos para animais de estimação (*pet food*)**

Projeto Final de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof.ª Dr.ª Marieli de Lima
Orientadora - FEQUI/UFU

Prof.ª Dr.ª Marta Fernanda Zotarelli
Coorientadora - FEQUI/UFU

Prof.ª Dr.ª Carla Zanella Guidini
FEQUI/UFU

Prof.ª Dr.ª Flávia de Santana Magalhães
UFU

Patos de Minas, 17 de maio de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/05/2024, às 10:08, 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 **Marta Fernanda Zotarelli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/05/2024, às 10:10, 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 **Carla Zanella Guidini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/05/2024, às 10:11, 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 **Flávia de Santana Magalhães, Usuário Externo**, em 17/05/2024, às 10:28, 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 **5355667** e o código CRC **29597AEA**.

Dedico a todos que são apenas um número,
mas ainda assim estão tentando ir contra as
estatísticas, mesmo a certeza sendo o não,
estão atrás da dúvida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às orientadoras, Marieli e Marta, por todos os ensinamentos, pela paciência e compreensão. Agradeço aos técnicos de laboratório e administrativo do curso de Engenharia de Alimentos da UFU; sem eles, este trabalho certamente não existiria. Também agradeço às colegas de pesquisa na área de vísceras suínas por compartilharem suas experiências e me nortearem. Às professoras Carla e Flávia, por aceitarem compor a banca de defesa e participar desta etapa. A todos os professores do curso, por cada parte do conhecimento compartilhado e por, na maioria das vezes, oferecerem muito mais do que conteúdo técnico. Ao programa extensionista da UFU, AFIN, que em 2018 contribuiu para meu ingresso na universidade e durante a graduação ajudou na minha permanência através das bolsas oferecidas. À PROAE, que também contribuiu para minha permanência na graduação através da assistência estudantil. Aos colegas e amigos que me acompanharam e tornaram toda essa experiência mais fácil. E, por fim, à minha família, por estar sempre presente.

“Não devemos ter medo dos confrontos. Até os planetas se chocam e do caos nascem as estrelas”

(CHAPLIN, 2012)

RESUMO

O presente estudo avaliou a viabilidade da técnica de *air-frying* na desidratação do pulmão suíno, com o objetivo de utilizar essa matéria-prima, que possui um alto valor nutricional e até então é subutilizada, como ingrediente na alimentação de animais de estimação. Para tal, foram investigadas a influência de duas temperaturas de secagem convectiva na *air-fryer* (90 e 150 °C), sobre as características do pulmão suíno seco. Para atingir a umidade de 70% (base úmida) a 90°C, necessitou-se de um tempo de 60 minutos, enquanto na secagem em 150°C, o tempo para atingir a mesma umidade foi de 15 minutos. Na cinética a 90°C, iniciou com 5,75 g água/g sólidos secos e finalizou com 0,10 g água/g sólidos secos. Na cinética a 150°C, iniciou-se com 5,31 g água/g sólidos secos e finalizou com 0,40 g água/g sólidos secos. Após a secagem, a umidade determinada foi de 1,89% (90°C) e 0,9% (150°C) em base úmida, higroscopicidade de 12,96% e 12,37% (90 e 150 °C, respectivamente), atividade de água 0,302 (90°C) e 0,323 (150 °C), densidade bulk 475,32 Kg/m³ e 580,24 Kg/m³ (90 e 150 °C, respectivamente). Foi possível notar também uma alteração na cor, onde a amostra seca se afastou a coloração do pulmão fresco com uma diferença global de cor de 30 na escala CieLab. Os valores dos parâmetros colorímetros encontrados foram para a secagem nas duas temperaturas foram próximos: L*_{90°C} de 14,96; a*_{90°C} de 3,76; b*_{90°C} de 7,28 e L*_{150°C} de 14,11; a*_{150°C} de 3,65; b*_{150°C} de 7,28. Com a análise granulométrica obteve-se um diâmetro de Sauter de aproximadamente 0,17 mm. Observou-se com esses resultados que o método de *air-frying* mostrou ser eficaz para secagem do pulmão suíno, alcançando altas temperaturas e reduzindo o tempo de operação de 150 minutos (90°C) para 35 minutos (150°C). Desta forma, o pó obtido por este método tem potencial de aplicação na indústria de alimentos e de pet food.

Palavras-chave: Alimentação para *pets*. Aproveitamento de resíduos. Vísceras suínas. Produtos em pó.

ABSTRACT

The present study evaluated the feasibility of the air-frying technique in dehydrating pork lungs, aiming to utilize this raw material, which has high nutritional value and is currently underutilized, as an ingredient in pet food. To achieve this, the influence of two convective drying temperatures in the air-fryer (90 and 150°C) on the characteristics of dried pork lungs was investigated. To reach a 70% humidity level (on a wet basis) at 90°C, a drying time of 60 minutes was required, while at 150°C, the time to reach the same humidity was 15 minutes. In the kinetics at 90°C, it started with 5.75 g of water/g of dry solids and ended with 0.10 g of water/g of dry solids. In the kinetics at 150°C, it started with 5.31 g of water/g of dry solids and ended with 0.40 g of water/g of dry solids. After drying, the determined humidity was 1.89% (90°C) and 0.9% (150°C) on a wet basis, hygroscopicity of 12.96% and 12.37% (90 and 150°C, respectively), water activity of 0.302 (90°C) and 0.323 (150°C), bulk density of 475.32 Kg/m³ and 580.24 Kg/m³ (90 and 150°C, respectively). A change in color was also noted, where the dried sample deviated in color from the fresh lung with an overall color difference of 30 on the CieLab scale. The values of the colorimetric parameters found for drying at both temperatures were close: $L^*_{90^\circ\text{C}} = 14.96$; $a^*_{90^\circ\text{C}} = 3.76$; $b^*_{90^\circ\text{C}} = 7.28$ and $L^*_{150^\circ\text{C}} = 14.11$; $a^*_{150^\circ\text{C}} = 3.65$; $b^*_{150^\circ\text{C}} = 7.28$. With the granulometric analysis, a Sauter diameter of approximately 0.17 mm was obtained. These results showed that the air-frying method proved to be effective for drying pork lungs, achieving high temperatures and reducing the operation time from 150 minutes (90°C) to 35 minutes (150°C). Thus, the powder obtained by this method has potential application in the food and pet food industries.

Keywords: *Pet food*. Swine viscera. Waste utilization.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Suinocultura: dados de produção, comercialização e tendências.....	13
3.2 Abate suíno e o potencial das vísceras subutilizadas	16
3.3 Aplicação do pulmão desidratado na indústria de pet foods	19
3.4 Secagem de alimentos: mecanismo e princípios.....	20
3.5 Secagem de alimentos pelo método Air-frying.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Material.....	23
4.1.1.1 Amostras de pulmão suíno	23
4.1.2 Propriedades do pulmão descongelado.....	24
4.1.2.1 pH	24
4.1.2.2 Cor instrumental.....	24
4.1.2.3 Umidade.....	25
4.1.3 Processo de desidratação pelo Método Air-frying	25
4.1.4 Caracterização do pulmão seco	26
4.1.4.1 Umidade.....	26
4.1.4.2 Cor.....	26
4.1.4.3 Higroscopicidade.....	27
4.1.4.4 Atividade de água.....	27
4.1.4.5 Densidade Bulk	27
4.1.4.6 Análise Granulométrica	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29

5.1 Propriedades do pulmão descongelado.....	29
5.2 Cinética de secagem	30
5.3 Características do pulmão seco	31
5.4 Análise Granulométrica	34
6. CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, registrou-se um significativo crescimento na produção de carne suína no Brasil. Dados mostram que em 2012 o país produziu 3,5 milhões de toneladas de carne suína (ABPA, 2015). Enquanto relatórios mais recentes apontam que em 2022 o Brasil produziu quase 5 milhões de toneladas, ou seja, em dez anos houve um aumento de mais de 40% da produção nacional (ABPA, 2023). Em um contexto global, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, FAO (2023), trouxe que a produção mundial de carne suína totalizou cerca de 115 milhões de toneladas, provenientes do abate de porcos e leitões.

Os produtos secundários originados dessa cadeia produtiva compreendem principalmente sangue, ossos, tecidos conjuntivos, tendões e vísceras (Etxabide *et al.*, 2017). Esses derivados merecem destaque, uma vez que, em paralelo a uma grande produção de carne há a grande geração de subprodutos. E, em muito dos casos, esses subprodutos não são bem aproveitados. Por exemplo, no Brasil, não é tão comum o consumo das vísceras suínas, sendo essas subutilizadas, mesmo possuindo um alto valor nutricional (da Costa *et al.*, 2019). No mundo, há uma crescente preocupação com a sustentabilidade (FAO, 2023). Embora seja um tema da atualidade, a sustentabilidade vem sendo debatida há muitos anos. Ainda na década de 80 definiram sustentabilidade como um desenvolvimento capaz de satisfazer as exigências atuais sem prejudicar as gerações futuras em suprir suas próprias demandas (Assembleia Geral Das Nações Unidas, 1987). Para uma cadeia produtiva, sustentabilidade é conseguir produzir com economia e com responsabilidade social e ambiental (Ghobakhloo, 2018).

No entanto, a busca por uma produção sustentável não se limita apenas a diminuir desperdícios. É relevante também, valorizar e utilizar de forma eficiente recursos que, muitas das vezes, são subutilizados como é o caso das vísceras suínas (da Costa *et al.*, 2019). A reutilização desses subprodutos na criação de diferentes produtos ricos em proteínas, gorduras e minerais desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade na produção. Além disso, mostra-se como uma opção mais viável comparando ao uso de comida humana para alimentar animais de estimação (Meeker *et al.*, 2015).

A escolha do pulmão suíno como foco de pesquisa fundamenta-se em sua relevância econômica e nutricional. As vísceras suínas possuem um rendimento em média de 15% em relação ao peso da carcaça, estudos apontam que o pulmão suíno em específico é responsável por cerca de 0,89 % de rendimento em relação a carcaça fria e um teor considerável de

nutrientes tais como 14 gramas de proteínas, 7 miligramas de cálcio, 18,9 miligramas de ferro, entre outros compostos como as vitaminas da família "B" (Arouca *et al.*, 2015; Erikson *et al.*, 2019; FDC, 2019; Kakimov *et al.*, 2018). O rendimento significativo, levando em consideração a quantidade de suínos abatidos anualmente, conciliado a sua composição centesimal justifica a busca para uma melhor utilização das partes do animal, como exemplo para atender às novas demandas do mercado consumidor de produtos destinados a *pets*.

Ao considerar a busca por alternativas sustentáveis na indústria alimentícia, é fundamental explorar novas abordagens tecnológicas para a otimização de processos (Ribeiro *et al.*, 2017). Considerando a escassez de estudos na literatura sobre a secagem de pulmão suíno, é relevante ressaltar que há uma lacuna significativa no conhecimento científico acerca dessa prática, especialmente por técnicas alternativas como a utilização da *air fryer*. Nesse contexto, o método *air frying* emerge como uma promissora técnica de secagem de subprodutos da suinocultura, como o pulmão suíno. A capacidade da *air fryer* de desidratar alimentos de forma eficiente e com menor consumo energético abre novas possibilidades para o aproveitamento desses recursos subutilizados na produção de *pet foods* (Rani *et al.*, 2023).

Diante disso, os objetivos deste estudo visam explorar os benefícios da *air fryer* em uma desidratação de pulmão suíno, não abordados em muitos estudos, para contribuir com o entendimento da técnica. Destacando não apenas sua viabilidade técnica, mas também formas de otimizar o processo de forma a preservar seus atributos nutricionais e sensoriais, bem como explorar suas possíveis aplicações na indústria de *pet food*.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desidratar o pulmão suíno através do método *air-frying*.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o pulmão suíno descongelado quanto ao pH, cor instrumental e umidade.
- Avaliar a viabilidade da *air-fryer* como equipamento para desidratação por meio de cinética de secagem.
- Caracterizar o pó obtido da desidratação quanto às suas características físico-químicas (pH, umidade, atividade de água, cor instrumental, higroscopicidade, densidade bulk e análise granulométrica).

- Verificar o potencial do pó obtido para aplicação como ingrediente em *pet food* por meio da discussão dos resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

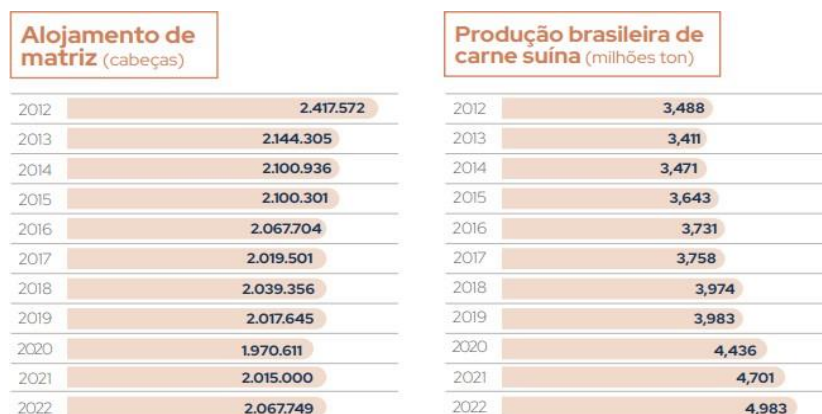
3.1 Suinocultura: dados de produção, comercialização e tendências

A suinocultura é uma importante atividade econômica que abrange desde pequenos produtores até grandes complexos produtivos. Esses complexos possuem uma integração que favorece o desenvolvimento tecnológico e dinâmicas de produção (IBGE, 2023). Para garantir que chegue uma carne suína de qualidade ao consumidor, há um grande esforço para evoluções nas etapas de genética, manejo, biossegurança, nutrição, bem-estar animal e boas práticas de fabricação (EMBRAPA, 2017).

A produção e abate de suínos tem uma grande importância econômica para o país. A Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) em seu relatório anual de 2023, apresentou que o Brasil ocupa a posição de quarto maior produtor e exportador de carne suína do mundo e produziu no ano de 2022 aproximadamente cinco milhões de toneladas de carne oriunda do abate suíno (ABPA, 2023).

Na Figura 1 está mostrado o crescimento da produção da carne suína no Brasil nos últimos dez anos, em paralelo, mostra os números relativos ao alojamento de matriz por cabeça. Nela, foi possível observar que, enquanto houve aumento da produção, o número de cabeças do ano de 2022 foi menor quando comparado a 2012, o que indica que houve um avanço na cadeia produtiva, alcançaram uma melhor produtividade. De fato, isso é observado, segundo Woonwong *et al.* (2020), o avanço tecnológico, a expansão do conhecimento e a inovação abriram portas para aprimorar as técnicas de manejo, alojamento, criação e alimentação, o bem-estar animal como um todo e essa evolução tem impacto direto no aumento da produtividade.

Figura 1. Análise Comparativa do Alojamento de Matrizes e Produção de Carne Suína no Brasil nos últimos dez anos.



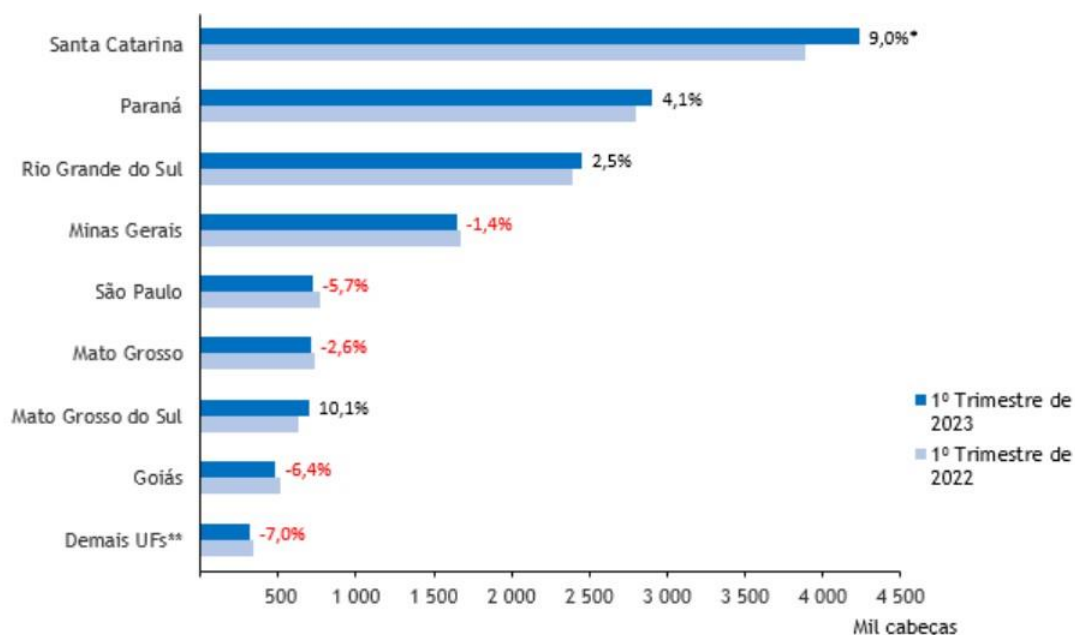
Fonte: ABPA, 2023.

A relevância da carne suína no Brasil pode ser justificada pelo cenário econômico do país. O aumento da inflação afeta o consumo das famílias e muitas dessas buscam alternativas mais baratas de alimentação. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, CEPEA, os preços da carcaça suína caíram 6% em 2022 em comparação ao ano anterior, enquanto os da bovina e do frango subiram 3% e 6%, respectivamente (CEPEA, 2023).

No entanto, o destaque da suinocultura brasileira não se dá apenas no consumo interno. A ABPA aponta que o Brasil exportou em 2022 a quantidade de 1120 milhão de toneladas de carne suína, o equivalente a US\$ 2,5 bilhões. Esses números representam 22% da produção total. O Brasil é responsável pela distribuição de carne suína para 88 países e não para de prosperar, em julho de 2023 superou a exportação do mesmo mês do ano anterior em 9,3% (ABPA, 2023).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta que o estado de Minas Gerais ocupa a quarta posição no *ranking* dos estados brasileiros que mais abatem suínos, ficando atrás apenas de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. Esses quatro estados somam quase 80% do abate total em 2023 (IBGE, 2023), como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2. Ranking e variação anual do abate de suínos – Unidades da Federação – 1ºs trimestres de 2022 e 2023



Fonte: IBGE, 2023

Por meio desses dados é possível observar a consolidação da suinocultura no país. Esse alto desempenho do mercado faz com que se busque cada vez mais formas de aplicar inovações e tecnologias para melhorar a cadeia. Além de atrair olhares para o impacto dessa atividade para o meio ambiente (Andretta *et al.*, 2021).

No que se refere ao aprimoramento da produção de suínos, busca-se cada vez mais uma maior produtividade e qualidade. Para se alcançar isso, estudos buscam entender como o sistema onde o suíno é criado, sua alimentação, raça, gênero, genética e demais variáveis afetam na qualidade e peso final da carcaça. Além da forma como impacta na saúde e resistência do animal a vírus, pragas, doenças em geral. Assim, espera-se que nos próximos anos a cadeia de suínos se torne ainda mais tecnológica e cada elo dela cada vez mais integrados entre si (Faucitano *et al.*, 2023; Thangamayana *et al.*, 2023; Tokach *et al.*, 2016).

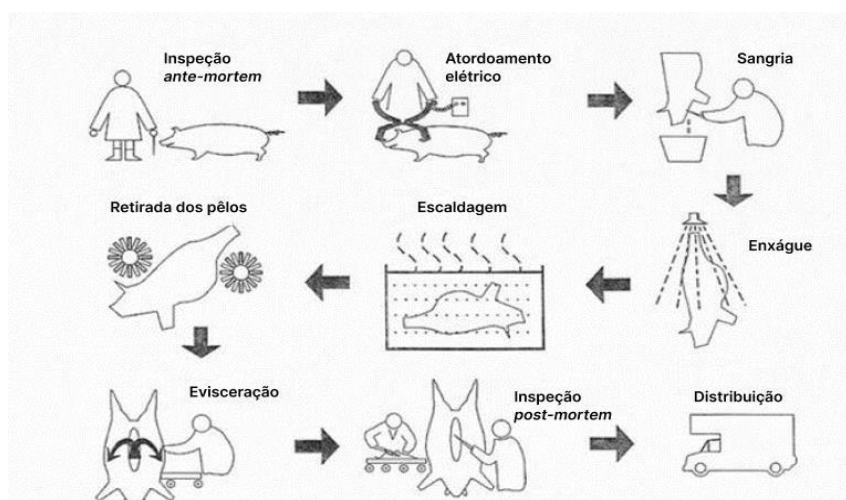
Uma outra grande tendência dessa área é voltada para tornar a produção de suínos cada vez mais sustentável. Os estudos citam estratégias ecológicas para diminuir impactos na cadeia produtiva sem que isso afete o valor do produto final. As pesquisas vão desde alternativas para alimentação dos porcos, uma vez que suas rações dependem de agentes químicos como

fertilizantes e pesticidas, até destinos mais adequados para os subprodutos e resíduos (Andretta *et al.*, 2021; de Quelen *et al.*, 2021; Tokach *et al.*, 2016).

3.2 Abate suíno e o potencial das vísceras subutilizadas

O abate de animais suínos compreende as seguintes etapas que estão ilustradas na Figura 3. Inicialmente, é realizada uma inspeção pré-abate, na qual qualquer suíno com lesões, doenças ou qualquer anormalidade é separado dos demais. Se o suíno estiver em condições adequadas, ele passa pelo processo de atordoamento, que o deixa inconsciente por meio de um choque elétrico controlado. Em seguida, ocorre a etapa da sangria, na qual o animal inconsciente é submetido a um corte nas veias e artérias da região do pescoço para permitir o escoamento do sangue. Após a sangria, o suíno é submetido a um enxágue em um chuveiro para remover vestígios de sangue da pele. Logo depois, segue-se para a fase de escaldagem, na qual o animal é imerso em um tanque de água quente (entre 62°C e 72°C). Esta etapa tem como objetivo facilitar a remoção posterior dos pelos. Após a escaldagem, uma máquina é utilizada para remover mecanicamente os pelos do suíno. A partir desse ponto, é efetuado um corte longitudinal no animal para possibilitar a remoção das vísceras. Em seguida, ocorre uma inspeção rigorosa, tanto da carcaça quanto dos órgãos internos. As partes que atendem aos padrões de qualidade e segurança do alimento são encaminhadas para a expedição, garantindo que apenas produtos aptos para consumo cheguem ao consumidor (CFS, 2023; Monteiro *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2007).

Figura 3. Etapas do abate de Suínos.



Fonte: Adaptado de CFS HK, 2023

As vísceras suínas, também chamadas miúdos, incluem órgãos como o coração, o fígado, o estômago, os pulmões e os rins. Elas são uma parte essencial da produção de carne suína, obtidas na etapa de evisceração (Erickson *et al.*, 2019). Quanto ao rendimento dessas partes, os valores encontrados na literatura divergem. Estudos de Kakimov *et al.* (2018) apresentaram que as vísceras correspondem a 17% do peso da carcaça suína. Erickson *et al.* (2019) apresentam em seu trabalho 14% de rendimento. Esses valores podem variar devido a vários fatores tais como gênero, raça, idade e alimentação do suíno.

Embora ao redor do mundo os miúdos sejam bem apreciados na culinária, no Brasil e outros países ocidentais não é muito comum o consumo de vísceras suínas devido às preferências de consumo, mesmo com seu alto valor nutritivo (feliu-alsina *et al.*, 2023). Essa parte considerada por muitos não comestível é destinada principalmente para a produção de farinhas e óleos (Ferreira *et al.*, 2018). As vísceras suínas são ricas em nutrientes essenciais, como proteínas de alta qualidade, vitaminas e minerais. No entanto, é comum que sejam subutilizadas, muitas vezes sendo descartadas ou incorporadas em produtos alimentares de baixo valor nutricional (Kakimov *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2018).

Dessa forma, a subutilização nutricional das vísceras suínas não apenas resulta em perdas significativas de receita para a indústria de processamento de carne, mas também desperdiça seu potencial de serem processadas e comercializadas de outras diferentes maneiras, como na produção de alimentos para animais de estimação, suplementos nutricionais e itens de charcutaria. Essa expansão de novos mercados e produtos derivados das vísceras suínas pode gerar benefícios econômicos tanto para os produtores quanto para os consumidores (Erickson *et al.*, 2019).

A quantificação dos nutrientes no pulmão suíno revela seu valor nutricional substancial. O pulmão suíno é uma excelente fonte de proteínas de alta qualidade, fornecendo um pouco mais de 14 gramas de proteína por 100 gramas de tecido, a carne suína tem entre 18 e 22 gramas desse mesmo nutriente a cada 100 gramas de carne crua. Além disso, é rico em minerais como ferro, zinco, potássio e fósforo que são fundamentais para várias funções metabólicas no organismo. Também contém diversas vitaminas essenciais para o funcionamento de corpo (ASEMG, 2023; FDC, 2019). Na tabela 1 está apresentado um compilado das informações nutricionais do pulmão suíno:

Tabela 1. Tabela Nutricional do Pulmão Suíno Fresco.

Componente	Quantidade em 100 g
Água	79,52 g
Valor energético	85 kcal
Proteína	14,08 g
Gorduras totais	2,72 g
Carboidratos*	0 g
Fibra alimentar	0 g
Cálcio	7 mg
Ferro	18,9 mg
Magnésio	14 mg
Fósforo	196 mg
Potássio	303 mg
Sódio	153 mg
Zinco	2,03 mg
Tiamina	0,085 mg
Riboflavina	0,43 mg
Niacina	3,345 mg
Vitamina B6	0,1 mg
Vitamina B12	2,75 µg
Gorduras saturadas	0,96 g
Gorduras monoinsaturadas	0,61 g
Gorduras poliinsaturadas	0,34 g
Colesterol	320 mg

* a determinação de carboidratos foi realizada por diferença

Fonte: FDC, 2019.

Os dados nutricionais apresentados na Tabela 1 reforçam que a subutilização das vísceras, incluindo o pulmão suíno, representam uma oportunidade que merece atenção e exploração mais aprofundadas. O pulmão suíno é uma fonte de proteína de alta qualidade, mas

seu conteúdo nutricional varia dependendo do tipo de processamento, assim como os demais tipos de carnes (Gómez *et al.*, 2020).

3.3 Aplicação do pulmão desidratado na indústria de *pet foods*

O setor *pet* é um segmento que vem crescendo muito nos últimos anos e que abrange atividades, produção e a comercialização de produtos voltados para atender animais de estimação. Esses animais incluem cães, gatos, aves canárias, alguns tipos de peixes, e até mesmo alguns répteis e mamíferos de pequeno porte. Eles estabelecem um convívio com o ser humano e essa relação afetiva faz com que os *pets* tenham uma grande importância para seus donos e esses queiram investir no melhor para seus bichos (ABINPET, 2023).

Os números dessa área do agronegócio são expressivos devido ao aumento de animais domésticos nas famílias. Esse progresso pode ser justificado pelo fato de os núcleos familiares estarem optando por ter filhos mais tardiamente e em menor número. Além disso, estudos comprovam que ter a posse de animais de estimação pode trazer benefícios emocionais bem como para saúde física fisiologicamente falando, como diminuição do estresse, ansiedade, melhora a frequência respiratória, pressão arterial, entre outros. Dados indicam que apenas no Brasil, China, Estados Unidos e União Europeia há mais de meio bilhão de cães e gatos em lares familiares. Em um contexto mais geral, acredita-se que mais da metade da população global tenha um animal de companhia (Health For Animals, 2022).

Paralelamente há uma grande cadeia para suprir a demanda desses animais. Na União Europeia são produzidas anualmente 10,5 milhões de toneladas de alimentos para *pets* (EUROPEAN PET FOOD, 2022). Em 2022, a indústria brasileira de *pets* faturou 41,96 bilhões de reais. Desse montante, as chamadas *pet foods* correspondem a 80%. O país ocupa a terceira posição no ranking mundial de faturamento nesse setor (ABINPET, 2023). Enquanto no mercado estadunidense, a partir de dados do ano anterior, a expectativa é que em 2023 esse nicho de mercado fature 42,39 bilhões de dólares, projeções apontam que deve atingir 54,61 bilhões até 2028 (Mordor Intelligence, 2023).

Hoje, os animais de estimação são considerados como membros da família, por isso, os tutores de animais de estimação estão mais conscientes da importância da nutrição adequada para a saúde e bem-estar de seus *pets* (Health For Animals, 2022). Eles buscam alimentos que ofereçam ingredientes de alta qualidade e atendam às necessidades nutricionais específicas de

seus cães, gatos e demais, incluindo proteínas de qualidade (Buff *et al.*, 2014). Nesse contexto, o pulmão suíno possui características favoráveis para tornar-se um ingrediente que contribui para uma dieta equilibrada (Seong *et al.*, 2014).

O pulmão suíno desidratado pode se mostrar um ingrediente valioso na indústria de alimentos para animais de estimação. É uma boa alternativa substituir dietas a base de carnes cruas, uma vez que a manipulação inadequada desse alimento pode levar os animais ao consumo de um produto contaminado com patógenos, oferecendo um risco a saúde desses. Além da proteção aos riscos microbiológicos, oferece todos os nutrientes citados anteriormente (FDC, 2019; Saad; França, 2010).

3.4 Secagem de alimentos: mecanismo e princípios

A secagem de alimentos é uma prática milenar e eficaz para a conservação de alimentos por meio da aplicação de calor. Essa ação serve para que se reduza a umidade e a atividade de água e, consequentemente iniba o crescimento da maior parte de microrganismos e a ação de enzimas: principais agentes deteriorantes presentes em uma matriz alimentícia (Fellows, 2006).

Além disso, a secagem é uma prática amplamente utilizada visando proporcionar maior conveniência, porque resulta na redução do volume do produto, tornando-o mais compacto e, assim, facilitando significativamente o transporte, manuseio e sua posterior utilização em uma variedade de outros processos e aplicações (Fellows, 2006).

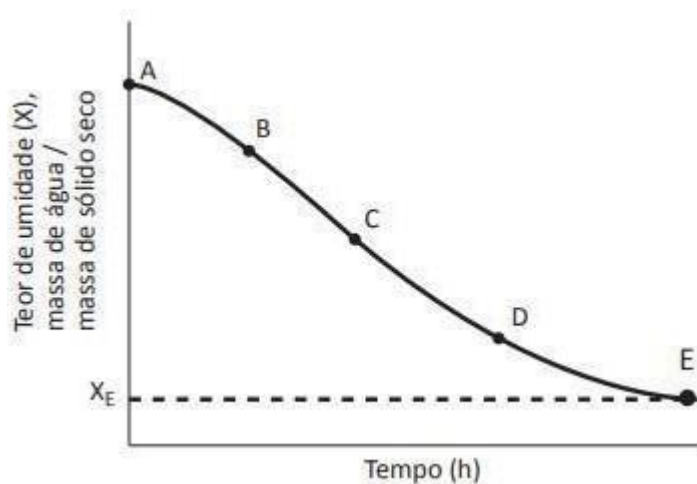
Seu princípio se baseia na ventilação de ar quente inicialmente na parte superficial do alimento, o calor sensível proporciona o aumento da temperatura do material a ser seco. Com o tempo, por condução, esse calor é difundido até o interior do alimento, o calor sensível se transforma em calor latente e, assim, a água do alimento evapora. Esses vapores de água são levados pelo ar seco que está em constante circulação no equipamento. O movimento da umidade de dentro para fora do alimento pode ter como força motriz distintos mecanismos de transporte: fluxo capilar devido a diferença de pressão nos capilares, o fluxo tende ser de capilares com mais pressão para aqueles com menor pressão; difusão de líquidos devido ao gradiente de concentração, o ar seco tem uma concentração de água bem menor que o interior do material a ser seco; difusão de vapor de água devido aos gradientes de pressão de vapor (Food Ingredients Brasil, 2013; Valentas *et al.*, 1997).

De forma geral, a taxa de secagem não é constante, ou seja, a quantidade de água removida não é a mesma durante todo o tempo da desidratação. Isso pode ser explicado pelo

fato de que a água está disposta de diferentes formas em um alimento, sendo algumas moléculas mais fáceis de serem retiradas da estrutura que outras. Por isso, a curva de secagem, gráfico que representa a umidade em função do tempo tem diferentes regiões, na Figura 4 está apresentado um gráfico de teor de umidade em função do tempo e é ilustrada cada uma dessas regiões (FoodIngredients Brasil, 2013; Valentas *et al.*, 1997).

Em um primeiro momento a umidade decresce com grande velocidade (região que vai do ponto A ao B na Figura 4). Depois, inicia-se um período que a secagem ocorre em taxa constante, isso até que a água superficial seja praticamente toda evaporada (região que vai do ponto B ao C na Figura 4). Após isso, entra-se na região de secagem decrescente onde a umidade reduz gradualmente (região que vai do ponto C ao D na Figura 4). É possível observar que há um aumento na resistência da transferência de massa à medida que o teor de água diminui até por fim chegar na etapa final da secagem onde todo o conteúdo de umidade é evaporado e atinge a umidade de equilíbrio (X_E) (Food Ingredients Brasil, 2013; Foust *et al.*, 1982 Valentas *et al.*, 1997).

Figura 4. Curva da cinética da Secagem



Fonte: FOUST *et al.*, 1982.

Embora essa seja uma curva típica de secagem, cada alimento seco em diferentes condições terá a sua própria curva. O formato da curva varia de acordo com vários fatores como: qual é o alimento, a espessura da amostra e qual sua umidade, temperatura de secagem, direção e

velocidade ar, entre outros (Food Ingredients Brasil, 2013; Valentas *et al.* 1997).

Esse comportamento básico da secagem é aplicado em larga escala em técnicas tradicionais como a secagem em estufas. Uma das principais vantagens da secagem em estufas é a sua simplicidade e eficácia. É uma técnica relativamente acessível quando comparada a outros métodos e pode ser utilizada para uma ampla variedade de alimentos. Além disso, não requer equipamentos sofisticados, tornando-a a melhor escolha em contextos de produção em pequena escala (Xiao *et al.*, 2018).

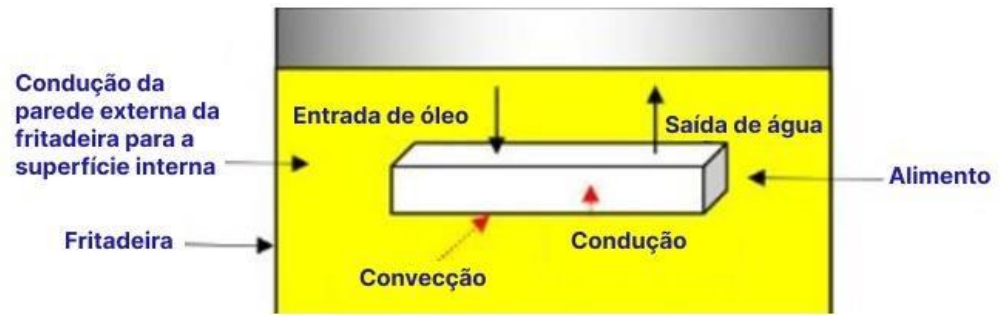
No entanto, a secagem em estufas também apresenta desvantagens em relação a outras tecnologias modernas. Uma das principais desvantagens é o tempo longo de secagem, principalmente para alimentos com alto teor de umidade inicial. Além disso, a exposição prolongada ao calor pode afetar negativamente o alimento sensorial e nutricionalmente falando (Xiao *et al.*, 2018).

A secagem de carnes é uma prática milenar que se iniciou secando carnes ao sol. Embora eficiente, a carne fica susceptível a contaminações por microorganismos e sujidades. No decorrer dos anos, foi necessário a evolução das técnicas de secagem, tornando-as mais avançadas e higiênicas. A técnica mais utilizada é a secagem ao ar quente, realizada em câmaras fechadas, como as estufas. A secagem por microondas, uma técnica mais recente, seu princípio se baseia em converter a energia das microondas em calor, o que reduz significativamente o tempo de secagem e melhora a qualidade do produto final quando comparada a outras técnicas. Embora essas sejam técnicas utilizadas outros métodos alternativos vem sendo utilizados (Mishra, 2017).

3.5 Secagem de alimentos pelo método Air-frying

Nos métodos de fritura, assim como na desidratação por aplicação de calor por estufa, há a remoção do conteúdo de água do alimento. Basicamente, esse processo realizado de forma convencional, envolve tanto fenômenos de convecção, gerados pelo calor transferido pelo óleo utilizado (ou ar presente, no caso do método *air frying*) quanto por condução que é o calor transmitido internamente no alimento. A água presente nas células é transferida para fora da estrutura do alimento, vaporizada à medida que se aumenta a temperatura ao passo que o óleo utilizado para fritar é absorvido (Rani *et al.*, 2023). Na Figura 5 está ilustrado o processo de transferência de calor e massa na fritura:

Figura 5. Transferência de calor e massa no processo de fritura.



Fonte: Adaptado de Holden *et al.*, 2020.

Se tratando de alimentos fritos, recentemente os consumidores vem diminuindo bastante o consumo de óleo, uma vez que esse ingrediente vem sendo bastante relacionado a diabetes e doenças cardiovasculares. Por isso, o equipamento *air-fryer* que realiza a fritura sem a utilização de óleo vem tendo destaque e vem aumentando sua presença nas residências. Esse método considerado mais saudável fundamenta-se na remoção da água do alimento a ser frito por meio da circulação do ar quente no equipamento (Liu *et al.*, 2022; Fang *et al.*, 2023.)

As *air-fryers* funcionam de maneira semelhante a um forno de convecção, mas em escala menor e com alta velocidade de circulação do ar. Quando ligadas, as *air-fryers* aquecem uma resistência elétrica, aquecendo o ar rapidamente. Um ventilador interno distribui esse ar aquecido em alta velocidade, garantindo uma distribuição uniforme do calor em torno dos alimentos. Isso conciliado ao fato de que geralmente possuem uma câmara de secagem menor que estufas, por exemplo, faz com que a remoção da umidade seja mais rápida (Science Meets Food, 2014)

As condições de temperatura e fluxo de ar são fundamentais na desidratação por convecção forçada. As *air-fryers* podem alcançar altas temperaturas, isso ajuda a promover a evaporação da umidade dos alimentos de maneira mais eficiente. O fluxo de ar é mantido constante e vigoroso, garantindo que o calor seja distribuído uniformemente. Isso é essencial para evitar pontos quentes e garantir que todos os alimentos sejam desidratados de maneira homogênea (Santos *et al.*, 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1.1 Amostras de pulmão suíno

Os pulmões utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram adquiridos em um abatedouro local no município de Patos de Minas, Minas Gerais. Foram recebidos e passaram pela toalete, processo onde foram retiradas todas as partes que não são de interesse como traqueia, brônquios e até mesmo partes de outros órgãos próximos que podem vir aderidos. Na Figura 6 está exibida a matéria-prima antes da limpeza.

Figura 6. Pulmão antes da toalete. A: visão frontal do pulmão. B: visão da traqueia junto ao lóbulo pulmonar



Fonte: a autora, 2024.

Em seguida, após a limpeza, as amostras foram moídas em um moedor de carnes (modelo MBI-22, marca Becker Go). Depois desse procedimento foram acondicionadas em embalagens plásticas e armazenadas em um *ultra freezer* (marca Indrel, modelo IULT CRP 335D), a uma temperatura média de -59°C .

O recebimento, limpeza, acondicionamento da matéria-prima e experimentos foram conduzidos nos laboratórios didáticos do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia, campus Patos de Minas.

4.1.2 Propriedades do pulmão descongelado

4.1.2.1 pH

O pH das amostras frescas foi determinado utilizando um medidor de pH portátil (marca AKSO, modelo ln-03-0918). A leitura foi realizada inserindo o eletrodo diretamente no pedaço de pulmão descongelado. O experimento foi realizado em triplicata e em temperatura ambiente.

4.1.2.2 Cor instrumental

A cor do pulmão fresco foi analisada através de um calorímetro digital (marca Konica Minolta, modelo CR400) com escala CIELab (utilizando os parâmetros L^* , a^* , b^*). Nessa escala, o parâmetro “ L^* ” representa a luminosidade e varia do preto ($L^* = 0$) ao branco ($L^* = 100$). A cromaticidade é definida por a^* que varia do vermelho ($a^* = +60$) ao verde ($a^* = -60$)

e b^* variando do amarelo ($b^* = +60$) ao azul ($b^* = -60$). Os experimentos foram realizados em triplicata.

4.1.2.3 Umidade

A umidade foi determinada segundo os procedimentos descritos nos Métodos Oficiais de Análise da AOAC International (AOAC, 2012). Os três cadinhos utilizados foram previamente pesados e aquecidos em uma estufa (marca Nova ética, modelo 402-3D) a 105°C. Aproximadamente 5 gramas de pulmão moído foi pesada e adicionada em cada cadinho, submetida à mesma estufa e mantida até alcançar peso constante. Após o período da secagem (24 horas) foram removidos da estufa, resfriados até temperatura ambiente em um dessecador para evitar a absorção de umidade do ar, e então pesados novamente. Com as massas iniciais e as após a secagem, foi possível determinar a umidade em base úmida por meio da equação 1 e em base seca por meio da Equação 2:

$$X_u = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (1)$$

$$X_s = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (2)$$

Sendo “ m_i ” a massa inicial pesada e “ m_f ” a massa após a secagem, sendo que a unidade de X_u é porcentagem (%) enquanto a umidade em base seca é dada por (g água/g sólidos secos)

4.1.3 Processo de desidratação pelo Método Air-frying

A desidratação do pulmão suíno foi realizada em um equipamento Forno e Fritadeira Sem Óleo (Marca Oster, modelo TSSTTVFDMAF-017). Utilizou-se a função “fritar sem óleo” em duas temperaturas 90°C e 150°C, a fim de avaliar a secagem nessas duas temperaturas. Sendo a menor, a temperatura mínima do equipamento e a maior, uma temperatura mediana onde, através de testes prévios, a amostra ainda se mostrou com aparência e odor aceitáveis.

Para realizar a cinética de secagem, inicialmente pesou-se em uma balança analítica as placas que iriam ao forno como recipiente da amostra. O pulmão moído foi então distribuído em uma placa Mylar® (pulmão a ser seco a 90°C) e no papel pardo gramatura 80 g/m², 100% celulose (pulmão a ser seco a 150°C). Os moldes possuíam espessura de aproximadamente 3 milímetros e área de 140 cm². Precisou-se dos dois tipos de materiais para serem utilizados como

placas (papel

pardo e Mylar®), uma vez que a placa Mylar®, previamente utilizada em outras secagens não suportou a maior temperatura (150°C). Para elaborar a curva da cinética de secagem, amostras do alimento foram retiradas (de forma não destrutiva) dentro dos períodos pré-estabelecidos até atingirem massa constante. Para as secagens realizadas a 90°C, na primeira hora foi realizada a pesagem de 10 em 10 minutos e a partir desse ponto, as amostras foram retiradas de 30 em 30 minutos até não variarem a massa. Enquanto na secagem a 150°C, como a remoção de água seria mais rápida, nos primeiros 35 minutos retirou-se as amostras em intervalos de 5 minutos. Para cada temperatura foram realizadas três cinéticas individualmente com três placas simultâneas em cada experimento, totalizando 9 curvas de cinética de secagem (Strumillo; Kutra, 1987).

Figura 7. Amostras na placa de Mylar.



Fonte: a autora.

4.1.4 Caracterização do pulmão seco

4.1.4.1 Umidade

Segundo descrito no item 3.1.2.3.

4.1.4.2 Cor instrumental

Para fins comparativos realizou-se novamente a análise de cor no pulmão descrita no item 3.1.2.2 após a secagem. Os valores de cor antes e após a desidratação permitem ver a influência do processo na cor da amostra. A partir dos parâmetros obtidos do pulmão descongelado e posteriormente do pulmão seco, foi calculado o fator ΔE (Mudança global de cor) com a equação 3:

$$\Delta E = \sqrt{(L1 - L2)^2 + (a1 - a2)^2 + (b1 - b2)^2} \quad (3)$$

Em que os índices “1” e “2” representam os parâmetros antes e depois da secagem, respectivamente.

4.1.4.3 Higroscopicidade

Para determinar a higroscopicidade do pulmão seco, adaptou-se a metodologia descrita no trabalho desenvolvido por Cai e Corke (2000). Primeiramente pesou-se três cápsulas de porcelana que seriam utilizadas no experimento. Em seguida foi adicionado aproximadamente 1 grama da amostra (pulmão seco) em cada cápsula e essas foram levadas ao dessecador contendo uma solução saturada de cloreto de umidade de aproximadamente 70%. As amostras ficaram acondicionadas durante sete dias e após esse período pesou-se novamente as cápsulas, a higroscopicidade é dada por grama de umidade adsorvida por 100 gramas de massa seca da amostra.

$$H_y = \frac{((m_2 - m_1 - m_0) \times 1000) + (m_1 \times X_{bu})}{(m_2 - m_0) \times 10} \quad (4)$$

Em que, m_0 é a massa (g) do cadinho, m_1 é a massa (g) da amostra antes da análise de higroscopicidade, m_2 é a massa (g) da amostra após a análise de higroscopicidade e X_{bu} é a umidade da amostra em base úmida (g água/kg de amostra).

4.1.4.4 Atividade de água

A atividade de água foi determinada diretamente no analisador de atividade de água (marca METER Group, modelo Aqualab PRE Cap), à temperatura ambiente (25°C). O experimento foi realizado em triplicata.

4.1.4.5 Densidade Bulk

A densidade bulk foi determinada pesando 4,7532 gramas de amostra previamente fragmentada em um moinho de facas (marca FORTINOX, modelo STAR FT 50) e colocando em uma proveta graduada de 50 mL. Essa proveta foi batida várias vezes em uma superfície até

que o pó se acomodasse de forma uniforme dentro da coluna. A densidade foi calculada através da relação entre a massa adicionada e o volume ocupado pelo pó (Cai; Corke, 2000).

4.1.4.6 Análise Granulométrica

A análise granulométrica para determinar o diâmetro médio de Sauter foi realizada utilizando um agitador (marca Haver & Boecker, modelo Haver EML Digital Plus), com peneiras de 12, 16, 28, 32, 42, 60, 65, 80, 115, 150 mesh para medidas de aberturas de malha de 1,41 mm, 1,00 mm, 0,595 mm, 0,500 mm, 0,354 mm, 0,13 mm e 0,10 mm, respectivamente. Previamente o pulmão seco foi fragmentado em um moinho de facas (marca FORTINOX, modelo STAR FT 50) e, 43 gramas do pó foram peneirados por 20 minutos a uma agitação de 0,7 mm de amplitude. As peneiras foram colocadas em ordem decrescente de abertura além da tampa e fundo.

Figura 8. Jogo de peneiras no agitador.



Fonte: a autora

Com a massa de pó retida em cada peneira foram calculadas suas respectivas frações mássicas e assim calculado o diâmetro médio de Sauter através da equação 5:

$$d_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_i}} \quad (5)$$

Sendo x_i a fração mássica de pó retido na peneira i e D_i abertura da peneira i .

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Propriedades do pulmão descongelado

Os resultados das análises das propriedades do pulmão descongelado: pH, cor e umidade foram expostas na Tabela 2. A tabela traz os valores médios juntamente com o desvio padrão.

Tabela 2. Propriedades do pulmão descongelado.

Análises		Resultado
Umidade em base úmida (%)		84,15 ± 0,05
Umidade em base seca (g água/g sólido seco)		5,3081± 0,05
Ph		6,62 ± 0,03
Cor	L*	31,83 ± 0,04
	a*	26,72 ± 0,05
	b*	16,69 ± 0,02

Fonte: a autora, 2024.

A umidade em base úmida encontrada foi de 84,15 ± 0,05 %. Embora não haja muitas referências que trazem o teor de umidade do pulmão suíno, na Tabela 3 está apresentada alguns valores de umidade de pulmão suíno *in natura* encontrado por outros autores:

Tabela 3. Umidade de pulmão suíno *in natura* encontradas na literatura.

Víscera	Umidade (%)	Autores
Pulmão suíno cru	79,52	FDC, 2019
Pulmão suíno cru	83,07	Freitas <i>et al.</i> ,2023
Pulmão suíno cru	79,15	Riveira <i>et al.</i> , 2000

Fonte: elaborada pela autora, 2024.

Para o pulmão suíno, os valores encontrados de umidade na literatura foram de 79,52% (FDC, 2019) e 83,07% (Freitas *et al.*, 2023). Sendo assim, o valor encontrado neste trabalho está próximo aos observados na literatura. Diversos fatores podem influenciar na umidade de alimentos de origem animal, tais como a espécie, idade e manejo *post mortem* (HUI, 2006).

Portanto, a diferença entre o valor encontrado neste trabalho e os das referências citadas pode ser justificada por esses fatores. Além disso, as análises dessa pesquisa foram realizadas com pulmões moídos e descongelados e, segundo Min *et al.* (2016) ao realizar o descongelamento, a carne é acometida por alterações como a degradação de proteínas, oxidação de gordura, alteração da coloração e redução da capacidade de retenção de água, uma vez que nesse processo haverá o derretimento dos cristais de gelo formados no congelamento afetando a capacidade de retenção de água.

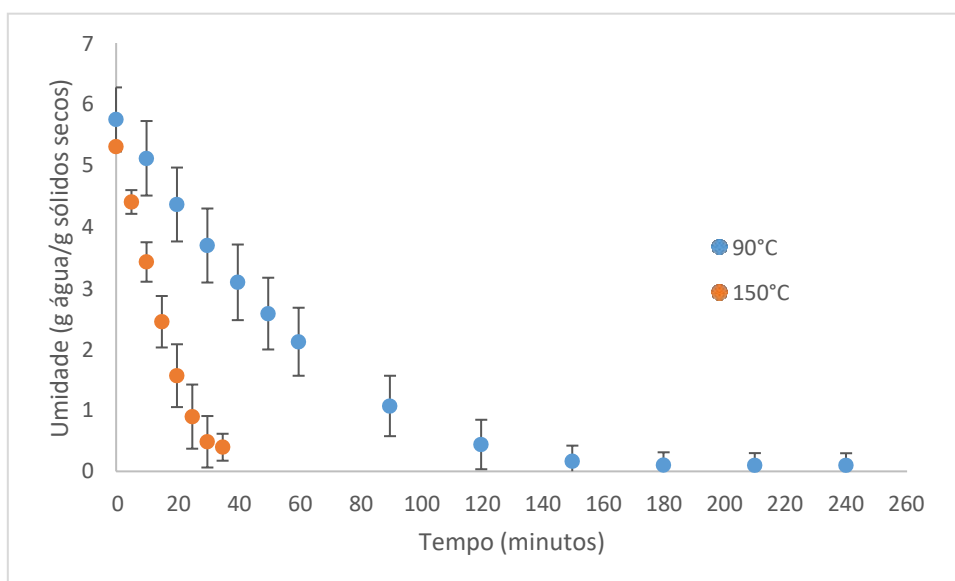
O valor do pH de produtos de origem animal é um dos parâmetros determinantes de qualidade. Nessa pesquisa foi obtido um pH de $6,62 \pm 0,03$. Em seus estudos, Riveira *et al.*, (2000) encontraram um pH de 7,19 para o pulmão suíno, enquanto estudos mais recentes de Freitas *et al.* (2023) citam um valor menor, de 6,98. Carnes com maior tempo de armazenamento tendem a apresentar pH maiores devido a hidrólise das proteínas musculares em compostos alcalinos como amônia e aminas (Husin, *et al.* 2020).

Quanto a cor instrumental, a luminosidade (L^*) encontrada foi de 31,83, como esse parâmetro varia de 0 a 100, a amostra apresenta uma luminosidade relativamente baixa. Em relação ao parâmetro a^* , o valor determinado foi 26,72, mostrando uma tendência à coloração avermelhada. E por fim, para o parâmetro b^* de 16,69 que representa uma tendência à cor amarela, devido a presença de fibras e gorduras presentes.

5.2 Cinética de secagem

Na Figura 9 está apresentada a cinética de secagem experimental das placas com pulmão suíno moído descongelado a 90°C e 150° em *air-fryer*.

Figura 9. Avaliação temporal da umidade do pulmão suíno durante secagem na *air-fryer* nas temperaturas de 90 e 150°C.



Fonte: a autora.

As barras de erros demonstram uma certa diferença nos teores de umidade das amostras, isso provavelmente se deu pela variação na umidade relativa do ar nos dias em que houve a secagem. No dia dos experimentos, a umidade relativa variou entre 41 e 76% em Patos de Minas (Climatempo, 2024).

Os dados da Figura 9 mostram que na maior temperatura, as amostras se estabilizaram mais rápido, no tempo igual a 35 minutos com uma umidade de 0,3958 g água/g sólido (29,36% em b.u.), já na temperatura menor de 90°C a estabilidade ocorreu por volta dos 150 minutos com umidade de 0,1683 g água/g sólido (14,40% em b.u.). Aksoy *et al.* (2019) compararam a secagem de carne bovina moída por diferentes métodos e chegaram a conclusão que o método escolhido interferiu significativamente no tempo e secagem. Segundo os autores, utilizando a combinação do tratamento ultrassônico e da secagem a vácuo (USV) a 45 °C (82 min); técnica secagem a vácuo a 45 °C (100 min). Nik Murzaini *et. al.* (2020) secaram abóbora em *air-fryer* e, a temperatura de 80°C levou 120 minutos para alcançar o equilíbrio. Sendo assim, a *air-fryer* se mostra um equipamento versátil para a secagem de diversos produtos em tempos comparáveis a outros métodos.

5.3 Propiedades do pulmão seco

Tabela 4. Propriedades do pulmão seco.

Propriedades	Resultado	90° C	150° C
Umidade em base úmida (%)		1,89±0,66	0,90±0,25
Umidade em base seca (g água/g sólido seco)		0,0192±0,66	0,009±0,25
Higroscopicidade (%)		12,96±0,78	12,37±0,03
Densidade bulk (Kg/m ³)		475,32	580,24
Atividade de água		0,302±0,01	0,323 ±0,01
Cor instrumental	L*	14,96±1,43	14,11±0,44
	a*	3,76±0,08	3,65±0,24
	b*	7,28±0,55	9,82 ±1,05
	ΔE	30,00	29,89

Fonte: a autora, 2024.

A umidade final apresentada pelas amostras após o processo de *air fryer* demonstra que as amostras apresentaram baixa umidade (1,89 % após 240 min), enquanto para a temperatura de 150 °C, a umidade final foi de 0,90 % em apenas 35 min. Isto pode ser explicado pela temperatura de operação do forno *air fryer*, visto que maiores temperaturas promovem maior transferência de massa, e por consequência, maior perda de água em um tempo reduzido. Alimentos com baixa umidade tendem a ser mais estáveis, no entanto, é importante também avaliar a higroscopicidade desse material. Segundo a ABINPET (2024) a umidade máxima permitida para alimentos secos para *pets* é 12%, assim, ambos os valores determinados estão dentro do estabelecido, visando a aplicação deste ingrediente direcionado para este setor.

A higroscopicidade, capacidade do material de adsorver umidade da atmosfera, é um parâmetro muito importante em pós, já que se espera estabilidade (baixa higroscopicidade) destes após a secagem. GEA Niro Research Laboratory (2003) traz em seu estudo uma classificação, onde pós com higroscopicidade inferior a 10% são definidos como não higroscópicos, pós com higroscopicidade entre 10,1% e 15% são considerados ligeiramente higroscópicos e pós com valores superiores a 15,1% são chamados de higroscópicos. De acordo com essa classificação, as amostras de pulmão suíno seco se enquadram como ligeiramente higroscópicas (Araújo, 2014).

Quanto à análise da densidade bulk, o valor encontrado foi de 475,32 Kg/m³ e 580,24 Kg/m³. É importante salientar que, esse valor sofre influência de fatores tais como umidade, tamanho e formato das partículas, compactação, presença de ar nos poros e ainda a composição química da amostra (Sousa; Ferreira, 2014). Rostami e colaboradores (2017) em suas avaliações de carne em pó produzida por secagem em janela de refratância encontraram valores para densidade bulk de 268 Kg/m³ (carne seca a 80°C) e 339 Kg/m³ (carne seca a 100°C, maior temperatura utilizada). A mesma diferença entre temperaturas também foi observada neste trabalho, onde a maior densidade bulk foi obtida a temperatura de 150 °C, e evidenciam o aumento da densidade à medida que se aumenta a temperatura da secagem como observado neste estudo.

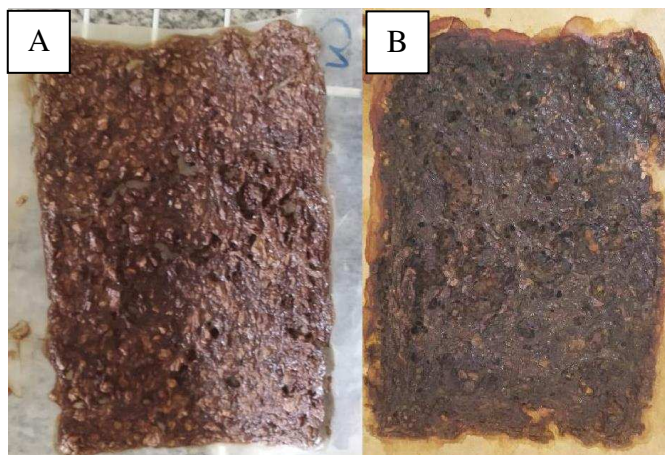
O manual desenvolvido pela ABINPET (2024) orienta que a atividade água máxima para alimentos secos utilizados para alimentação de *pets* é, usualmente 0,72, dessa forma, os valores encontrados para atividade de água de 0,302 (seco a 90 °C) e de 0,323 (seco a 150°C) estão em conformidade com o estabelecido para este setor. Vale ressaltar que alimentos com baixa atividade de água ($a_w < 0,6$) promovem maior estabilidade e se tornam mais seguros contra o desenvolvimento microbiano (Fellows, 2006).

A cor é um dos principais atributos de qualidade de produtos de origem animal, mesmo com o fim de se tornar uma ração para animais de estimação, a cor é importante para garantir a palatabilidade (Marcon *et al.*, 2019). Analisando os valores dos parâmetros colorimétricos das amostras secas em ambas as temperaturas, percebe-se que o aumento de temperatura aplicado não interferiu consideravelmente nos parâmetros L*, a* e b*, o que pode sugerir que apesar de ter sido utilizada uma alta temperatura, como o processo foi rápido (35 minutos) não promoveu mais alterações do que em temperatura mais baixa, o que pode ser um fator positivo para se estabelecer um parâmetro de processo. No entanto, ao realizar a comparação da cor do pulmão *in natura* descongelado e após os processos de secagem, que foi realizado por meio do cálculo da mudança global de cor (ΔE), foram os valores de 30,00 (para a secagem a 90°C) e 29,89 (para a secagem a 150°C), valores bem próximos entre si, o que sugere que ambas as condições de processo promoveram impacto similar na coloração das amostras. Aksoy *et. al* (2019) em seus estudos de secagem de carne bovina picada com diferentes técnicas encontraram valores de ΔE de 20,81 na secagem a vácuo; 16,45 na por ultrassom e 9,34 com a liofilização todos a 45°C, como são formas de secagem que permitem utilizar temperaturas mais brandas e esse fator afeta diretamente na coloração do produto, a temperatura pode ser o principal fator que levou eles encontrarem valores menores de diferença global de cor. O aspecto “menos vermelho” do pulmão seco (Figura 10), indicado pelo parâmetro a* pode ser justificado pela desnaturação da mioglobina devido a desidratação. Enquanto a diminuição da luminosidade

(L*) ocorre devido a formação de produtos oriundos da reação de Maillard, comportamento não observado

na liofilização, por exemplo, onde a desidratação ocorre em baixas temperaturas (Aykın; Erbas, 2016; Trevisan, 2015).

Figura 10. Amostras após a secagem. A: secagem a 90 °C. B: secagem a 150°C

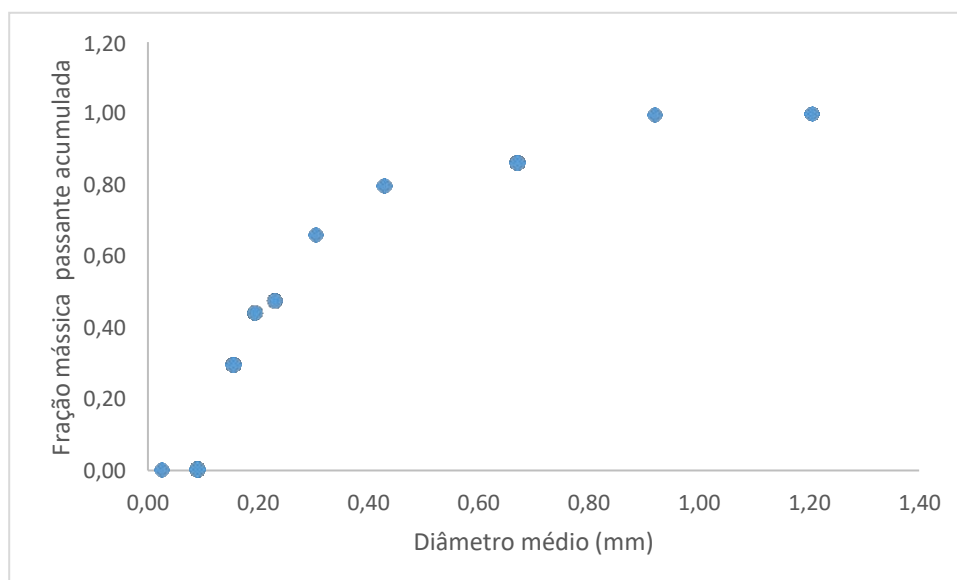


Fonte: a autora.

5.4 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada visando obter o tamanho das partículas obtidas após a secagem e moagem.

Figura 11. Análise granulométrica do pulmão suíno seco em pó.



Fonte: a autora.

O gráfico mostra que o pó obtido tem um caráter heterogêneo quanto aos tamanhos de partículas. Segundo os dados, cerca de 86% das partículas possuem tamanho menor que 0,67 mm e, logo, o material é caracterizado por partículas mais finas.

O diâmetro médio de Sauter é utilizado para representar o tamanho de partícula de um sistema particulado. Foi encontrado através da equação 3, para pulmão seco e fragmentado um diâmetro de Sauter de 0,17 mm, para o seco a 90°C e 0,16 mm para o seco a 150°C. Existem 5 classificações para sólidos particulados a partir do diâmetro de Sauter: pó (0,001 a 0,5 mm), sólidos granulares (0,5 a 10 mm), blocos pequenos (1 a 5 cm), blocos médios (5 a 15 cm) e blocos grandes aqueles com diâmetro de Sauter maior 15 cm, dessa forma, as amostras analisadas se enquadram como pó (Gomide, 1983).

6. CONCLUSÃO

A caracterização do pulmão suíno *in natura* apresentou características semelhantes a outros cortes de carne e permitiu avaliar posteriormente o impacto da secagem sobre as características do material, especialmente quanto a sua coloração.

A partir dos resultados obtidos pela secagem, pode-se concluir que a *air-frying* é um método efetivo para a secagem de materiais por convecção podendo alcançar altas temperaturas e como consequência reduzindo o tempo de operação. Com o aumento da temperatura percebeu-se menor tempo de secagem e, ainda, menor umidade final. O pó obtido possui partículas heterogêneas e está dentro dos padrões estabelecidos para o setor de *pet food* quanto a umidade e atividade de água, porém, por ser um material higroscópico, tem uma tendência a adsorver umidade da atmosfera, o que exige boas condições de armazenamento e embalagem adequada, com baixa permeabilidade ao vapor de água.

Além disso, a secagem a 150 °C se mostra mais promissora quando comparada a secagem a 90 °C, uma vez que, com a maior temperatura conseguiu-se menores tempos de secagem, umidade final menor e resultados semelhantes a secagem a 90° C nas demais análises. No entanto, há oportunidades para trabalhos que podem incluir a variação das faixas de temperatura aplicadas, caracterização nutricional da amostra fresca, descongelada e seca e estudar a viabilidade de outras partes também subutilizadas do suíno, como as retiradas na na toalete de limpeza do pulmão, dentro outras.

REFERÊNCIAS

ABINPET. Dados Mercado PET Brasil, 2023. Disponível em: https://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2023/03/abinpet_folder_dados_mercado_2023_draft1_incompleto_web.pdf.

ABINPET. Manual Pet Food Brasil. 11. ed. Disponível em: https://abinpet.org.br/wp-content/uploads/2024/01/abinpet_mpf_b_ed11_completo.pdf.

Aitbek Kakimov, Anuarbek Suychinov, Aleksandr Tsoy, Nurlan Mustambayev, Nadir Ibragimov, Nazira Kuderinova, Gulmira Mirasheva, & Zhanibek Yessimbekov. (2018). *Visão do valor nutritivo e biológico do fígado e do sangue de vários animais abatidos*.

Aksoy, A.; Karasu, S.; Akciceke, A.; Kayacán, S. Effects of Different Drying Methods on Drying Kinetics, Microstructure, Color, and Rehydration Rate of Minced Meat. *Foods* 2019, 8 (6), 216. <https://doi.org/10.3390/foods8060216>.

Andretta, I., Hickmann, F. M. W., Remus, A., Franceschi, C. H., Mariani, A. B., Orso, C., Kipper, M., Létourneau-Montminy, M. P., & Pomar, C. (2021). Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. In *Frontiers in Veterinary Science* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>

Araújo, A. L. M. (2014). *Polpa de jambolão (Syzygium cumini) desidratada por liofilização e secagem em leito de jorro: caracterização físico-química e funcional e impacto da secagem*. Natal.

Arouca, C. L. C. Aiura, F. S., Maciel, M. P., Chamone, J. M. A., & Pereira, F. M. Características de carcaça e peso de órgãos internos de suínos machos castrados na fase de terminação tardia alimentados com cana-de-açúcar. In: *CONGRESSO ABRAVES*, 2015, Campinas, SP.

Associação dos suinocultores do estado de minas gerais. Carne suína e proteínas. Disponível em: https://www.asemg.com.br/_carne-suina/carne-suina-e-proteinas/. Acesso em: 12 jun. 2024.

Assembleia Geral das Nações Unidas. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: resolution / adopted by the General Assembly*. <https://digitallibrary.un.org/record/153026#record-files-collapse-header>

Associação Brasileira de Proteína Animal. (2015). *RELATÓRIO ANUAL 2015*.

Associação Brasileira de Proteína Animal. (2023). *RELATÓRIO ANUAL 2023*. <https://abpa-br.org/abpa-relatorio-anual/>

Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). (2022). *Relatório Anual 2022*.

Aykın, E., & Erbaş, M. (2016). *Quality properties and adsorption behavior of freeze-dried beef meat from the Biceps femoris and Semimembranosus muscles*. Meat Science, 121, 272-277. doi:10.1016/j.meatsci.2016.06.030

Buff, P. R., Carter, R. A., Bauer, J. E., & Kersey, J. H. (2014). Natural pet food: A review of natural diets and their impact on canine and feline physiology. *J. Anim. Sci*, 92, 3781–3791. <https://doi.org/10.2527/jas2014-7789>

Centre for Food Safety - The government of the Honk Kong Special Administrative Region - CFS. (2023, January 31). *Slaughterhouses and Food Animals Monitoring*. https://www.cfs.gov.hk/english/import/import_smi.html

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA. (2023, January 16). *Supply and demand may drive prices more Significantly in 2023*. Disponível em <https://www.cepea.esalq.usp.br/en/brazilian-agribusiness-news/supply-and-demand-may-drive-prices-more-significantly-in-2023.aspx>

Chaplin, C. (2012). O Grande Ditador Vol. 1, *Coleção Folha Charles Chaplin*. São Paulo: Editora Folha de São Paulo.

Climatempo. Disponível em: <https://advisor.climatempo.com.br/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

da Costa, C. G. C., Paula, M. M. de O., Massingue, A. A., Filho, R. D. A. T., Ramos, E. M., & Carneiro, J. de D. de S. (2019). Protein concentrates obtained from pig by-products using ph-shifting technique: A preliminary study. *Ciencia Rural*, 49(6). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20181048>

de Quelen, F., Brossard, L., Wilfart, A., Dourmad, J. Y., & Garcia-Launay, F. (2021). Eco-Friendly Feed Formulation and On-Farm Feed Production as Ways to Reduce the Environmental Impacts of Pig Production Without Consequences on Animal Performance. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.689012>

EMBRAPA. (2017). *Qualidade na produção de suínos*. <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-suina/producao-de-suinos>

Erickson, A. K., Fuhrman, M., Benjy Mikel, W., Ertl, J., Ruesch, L. L., Murray, D., & Lau, Z. (2019). Microbiological evaluation of pork offal products collected from processing facilities in a major United States pork-producing region. In *Journal of Swine Health and Production*

(Vol. 27, Issue 1). <http://www.aasv.org/shap.html>.

Etxabide, A., Uranga, J., Guerrero, P., & de la Caba, K. (2017). Development of active gelatin films by means of valorisation of food processing waste: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.021>

European Pet Food. (2022). *EUROPEAN STATISTICS 2022*.
<https://europeanpetfood.org/about/statistics/>

Fang, M., Guan-Jing Huang, & Wen-Chieh Sung. (2023). *Mass transfer and texture characteristics of fish skin during deep-fat frying, electrostatic frying, air frying and vacuum frying - ScienceDirect*.

Faucitano, L., & Nannoni, E. (2023). Pig production systems and related effects on pre-slaughter animal welfare and meat quality. In *Italian Journal of Animal Science* (Vol. 22, Issue 1, pp. 513–523). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2212004>

Feliu-Alsina, N., & Saguer, E. (2023). Microbiological Quality and Physicochemical Characteristics of Pork Livers Supplied by an Industrial Slaughterhouse. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 130–138. <https://doi.org/10.31883/pjfn/162874>

Fellows, P. J. *Tecnologia do Processamento de Alimentos*. (2006).

Ferreira, A., Kunh, S. S., Cremonez, P. A., Dieter, J., Teleken, J. G., Sampaio, S. C., & Kunh, P. D. (2018). Brazilian poultry activity waste: Destinations and energetic potential. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 81, pp. 3081–3089). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.078>

Food and Agriculture Organization of United Nations. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2022 – 2031. *Organisation for Economic Co-Operation and Development*. <https://doi.org/10.1787/agr-outl-data>

Food Ingredients Brasil. (2013). *Alimentos Desidratados*. 58–68. www.revista-fi.com

Food Data Central. (2019). *Food Details: Pork, fresh, lung, raw*. USDA.GOV. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167864/nutrients>

Foust, Wenzel, Clump, Maus, & Andersen. (1982). *Princípios das Operações Unitárias*.

Freitas, Mariana Pinto *et al.* Caracterização nutricional e físico-química de pulmão suíno fresco e liofilizado. In: *Anais do 15º SLACAN - Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos e Nutrição*, 2023, Campinas. Disponível em: <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/caracterizacao-nutricional-e-fisico-quimica-de-pulmao-suino-fresco-e-liofilizado?lang=pt-br>. Acesso em: 08 abr. 2024.

GEA Niro Research Laboratory. Analytical methods dry milk products. GEA Niro analytical methods A14 a. *Soeborg, Denmark*. 2003. 103 p.

Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>

Gómez, I., Janardhanan, R., Ibañez, F. C., & Beriain, M. J. (2020). The effects of processing and preservation technologies on meat quality: Sensory and nutritional aspects. In *Foods* (Vol. 9, Issue 10). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods9101416>

Gomide, R. (1983). *Operações Unitárias - Volume 1: Operações Com Sistemas Sólidos Granulares*.

Health for animals. org. (2022). *Global State of Pet Care Stats, Facts and Trends*. <https://www.healthforanimals.org/reports/pet-care-report/global-trends-in-the-pet-population/>

Holden, N. M., Wolfe, M. L., Ogejo, A., & Cummins, E. J. (2020). *Introduction To Biosystems Engineering*. <https://LibreTexts.org>

Hui, Y. H., Sherkat, F. (Eds.). (2016). *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering - 1 Volume Set (Food Science and Technology)* (1st ed.)

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária* jan.-mar.2023. https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202201caderno.pdf
- Husin, N., Abdul Rahim, M. Z., Azizan, M. (2020). Real-time monitoring of food freshness using delphinidin-based visual indicator (Pemantauan Kesegaran Masa Nyata Makanan dengan Menggunakan Indikator Visual Berasaskan Delphinidin). *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24(4), 558-569.
- Liu, L., Huang, P., Xie, W., Wang, J., Li, Y., Wang, H., Xu, H., Bai, F., Zhou, X., Gao, R., & Zhao, Y. (2022). Effect of air fryer frying temperature on the quality attributes of sturgeon steak and comparison of its performance with traditional deep fat frying. *Food Science and Nutrition*, 10(2), 342–353. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2472>
- Marcon, A. V., Caldara, F. R., de Oliveira, G. F., Gonçalves, L. M. P., Garcia, R. G., Paz, I. C. L. A., ... Marco, A. (2019). Qualidade da carne suína após atordoamento elétrico ou com dióxido de carbono no abate. *Ciência da Carne*, 156, 93-97.
- Saad, F. M. de O. B., & França, J. (2010). *Revista Brasileira de Zootecnia Alimentação natural para cães e gatos*. 52–59. www.sbz.org.br
- Meeker, D. L., & Meisinger, J. L. (2015). Companion animals symposium: Rendered ingredients significantly influence sustainability, quality, and safety of pet food. *Journal of Animal Science*, 93(3), 835–847. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8524>
- Min, SG., Hong, GP., Chun, JY. e outros. Descongelamento ôhmico por pressão: uma abordagem viável para o descongelamento rápido de carne congelada e seus efeitos nos atributos de qualidade. *Food Bioprocess Technol* 9, 564–575 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1652-3>
- Mishra, B., Mishra, J., Pati, P., & Rath, P. (2017). Dehydrated Meat Products- A Review. *International Journal of Livestock Research*, 7(11), 10-22. <http://dx.doi.org/10.5455/ijlr.20170812035616>
- Monteiro, F. C., Samular, R. L., Montanhini, M. T. M., & Bittencourt, J. V. M. (2014). Occurrence of *Listeria monocytogenes* In a slaughterhouse-fridge of pigs in the region of campos gerais – pr. *Revista Gestão, Inovação e Tecnologias*, 4(5), 1583–1593.

<https://doi.org/10.7198/s2237-0722201400050023>

Mordor Intelligence. (2023). Tamanho do mercado US Pet Food & Análise de participação - *Tendências de crescimento e previsões (2023 - 2028)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/pet-food-market-in-the-us-industry>

Pereira, Débora Lina Nascimento Ciriaco. Tabela de Composição Química dos Alimentos. In: *Departamento de Informática em Saúde*. Escola Paulista de Medicina. Universidade Federal de São Paulo, 2014.

Rani, L., Kumar, M., Kaushik, D., Kaur, J., Kumar, A., Oz, F., Proestos, C., & Oz, E. (2023). A review on the frying process: Methods, models and their mechanism and application in the food industry. *Food Research International*, 172, 113176. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113176>

Ribeiro, H., Jaime, P. C., & Ventura, D. (2017). Alimentação e sustentabilidade. *Estudos Avancados*, 31(89), 185–198. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890016>

Santos, C. S. P., Cunha, S. C., & Casal, S. (2018). Domestic low-fat “frying” alternatives: Impact on potatoes composition. *Food Science and Nutrition*, 6(6), 1519–1526. <https://doi.org/10.1002/fsn3.683>

Rivera, J. A., Sebranek, J. G., Ferrugem, R. E., Tabatabai, L. B. (2000). Composição e frações proteicas de diferentes subprodutos cárneos utilizados em alimentos para animais de estimação em comparação com frango separado mecanicamente (MSC). *Ciência da Carne*, 55(1), 53-59.

Rostami, H., Dehnad, D., Jafari, S. M., & Tavakoli, H. R. (2017). Evaluation of physical, rheological, microbial, and organoleptic properties of meat powder produced by Refractance Window drying. *Tecnologia de Secagem, Powder Technology*, 36(9), 1076–1085. doi:10.1080/07373937.2017.1377224

Science Meets Food. (2014). The Science Behind Air Fryers _ *Food Chemistry _Science Meets Food*.

Seong, P. N., Park, K. M., Cho, S. H., Kang, S. M., Kang, G. H., Park, B. Y., Moon, S. S., & Van Ba, H. (2014). Characterization of edible pork by-products by means of yield and nutritional composition. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34(3), 297–306. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.3.297>

Silva Venturini, K., & Freire Sarcinelli, M. (2007). *ABATE DE SUÍNOS*. www.agais.com

Sousa, L. M., & Ferreira, M. C. (2014). Avaliação de densidades bulk de pós em diferentes estados de compactação. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, Vol.