



PPGCTA
Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

Juliana Setúbal Dias

**Desenvolvimento e estabilidade de caldos à base de
feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) da variedade preto e
feijão caupi (*Vigna unguiculata*) da variedade
manteiguinha.**

BELÉM – PA, BRASIL

2024

JULIANA SETÚBAL DIAS

**DESENVOLVIMENTO E ESTABILIDADE DE CALDOS À BASE DE FEIJÃO
COMUM (*Phaseolus vulgaris*) DA VARIEDADE PRETO E FEIJÃO CAUPI (*Vigna
uniguiculata*) DA VARIEDADE MANTEIGUINHA**

**DEVELOPMENT AND STABILITY OF POWDERED SOUPS PREPARED
WITH BLACK BEANS (*Phaseolus vulgaris*) AND BUTTER BEANS (*Vigna
uniguiculata*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Dissertation presented to the Graduate Program of Food Science and Technology (PPGCTA) of the Federal University of Pará (UFPA) in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master in Food Science and Technology.

Orientador: Prof. Dr. Renan Campos Chisté.

BELÉM – PA, BRASIL

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

S495d Setúbal Dias, Juliana.
Desenvolvimento e estabilidade de caldos à base de
feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) da variedade preto e
feijão caupi (*Vigna unguiculata*) da variedade manteiguinha /
Juliana Setúbal Dias. — 2024.
70 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Renan Campos Chisté
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2024.

1. estabilidade. 2. sopa em pó. 3. desidratação. 4.
feijão. I. Título.

CDD 664.0284

Data da defesa: 06/02/2024.

COMISSÃO EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

Renan Campos Chisté

Data: 09/06/2024 19:09:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Renan Campos Chisté
Universidade Federal do Pará – PPGCTA/ITEC
Orientador – Presidente da comissão



Documento assinado digitalmente

Rosinelson da Silva Pena

Data: 04/03/2024 16:28:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
Universidade Federal do Pará – PPGCTA/ITEC
Membro interno



Documento assinado digitalmente

HELOISA HELENA BERREDO REIS DE MEDEIROS

Data: 10/03/2024 21:58:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Heloisa Helena Berredo Reis de Medeiros
Universidade Federal do Pará – FEA/ITEC
Membro externo

A ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros também encontra-se registrada no SIGAA e disponível na Secretaria do PPGCTA-UFPA.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus e a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a vida e saúde para completar mais uma etapa da minha vida e me manter forte diante de todas as dificuldades. Agradeço especialmente aos meus pais Rose Keilla Nogueira Setúbal e em memória, Antonio de Souza Dias por sempre estarem ao meu lado e me motivarem a seguir em frente com os estudos. Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Renan Campos Chisté por estar sempre disposto a me ajudar em todas as etapas do trabalho e esclarecer todas as dúvidas possíveis. Agradeço também a todos os meus amigos do laboratório LAMPBIO que me proporcionaram um trabalho leve e cheio de gargalhadas durante todo o período do meu mestrado. Agradeço a todos os professores do programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da UFPA pela colaboração com todo o conhecimento e colaboração na minha formação.

A todos, Muito Obrigada, vocês foram essenciais para que eu pudesse concluir esta etapa de conhecimento.

Agradecimentos às agências de fomento à pesquisa

(Acknowledgement to the research funding agencies)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Código de Financiamento 403476/2022-4. (This study was financed in part by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - Finance Code 403476/2022-4.

O presente trabalho foi realizado com apoio da empresa Comercial Gama Lopes Ltda.

“Há uma inocência na admiração: é a daquele a quem ainda não passou pela cabeça que também ele poderia um dia ser admirado.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

O reaproveitamento de subprodutos da indústria alimentícia (refugos e/ou resíduos valorizados - coprodutos) vem sendo bastante difundido em âmbito mundial e representa uma excelente estratégia para o desenvolvimento de amplos aspectos da Ciência e Tecnologia de Alimentos. Neste estudo, o principal objetivo foi desenvolver dois caldos de feijão em pó: (1) utilizando parte da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), da variedade preto, como forma de reaproveitar o refugo da produção, e (2) um novo produto alternativo utilizando o feijão caupi (*Vigna uniculata*), da variedade manteiguinha, com o intuito de favorecer o consumo desse grão no mercado consumidor. A escolha dessas variedades de feijões foi determinada pela empresa parceira do projeto, Comercial Gama Lopes Ltda (Ananindeua, PA, Brasil). Além disso, a estabilidade dos produtos desenvolvidos foi monitorada por meio da determinação da atividade de água, oxidação lipídica e cor instrumental durante o período de 105 dias de armazenamento à temperatura ambiente. Como resultados, foram realizados testes sensoriais afetivos de aceitação, no qual a liofilização foi o método de secagem com os melhores resultados para o desenvolvimento de ambos os caldos de feijão, assim como ambos os produtos apresentaram alta aceitação dos provadores (80% de aceitação), destacando-se o caldo de feijão preto liofilizado, que teve mais de 90% de aceitação. A composição centesimal dos produtos apresentou valores de proteínas acima de 25% e alto teor de minerais com destaque para o K (711 mg/100 g) e o Fe (6 mg/100 g), valores superiores a produtos semelhantes existentes no mercado brasileiro. Neste estudo, o monitoramento do comportamento higroscópico e da estabilidade oxidativa de ambos os produtos, foi responsável por assegurar a estabilidade do produto até 105 dias de armazenamento, destacando a recomendação da utilização de embalagens com baixa permeabilidade ao vapor de água, oxigênio e proteção contra a luminosidade, além da adição do antioxidante sintético BHT (butil hidroxitolueno) nos caldos de feijão em pó para prolongar a vida útil dos produtos.

Palavras-chave: feijão; desenvolvimento de produto; oxidação lipídica; higroscopicidade.

ABSTRACT

The reuse of by-products from the food industry (rejects and/or coproducts) has been globally widespread and it represents an excellent strategy to comprise various aspects of Food Science and Technology. In this study, the goal was to develop two powdered bean broths: (1) using common beans (*Phaseolus vulgaris*), from the black variety, as a means of reusing production rejects, and (2) a new alternative product using cowpeas (*Vigna unguiculata*), from the butter bean variety, with the aim of promoting the consumption of this bean in the consumer's market. The choice of the bean varieties was determined in collaboration with the project's partner company, Comercial Gama Lopes Ltda (Ananindeua, PA, Brazil). Furthermore, the stability of the developed products was monitored through the determination of water activity, lipid oxidation, and instrumental color during a 105-day storage period, at room temperature. As a result, affective sensory acceptance tests were conducted; being freeze-drying as the selected drying method with the best acceptance results for the development of both powdered bean broths. Both the products achieved high acceptance from the tasters (80% acceptance), being black bean broth presenting over 90% acceptance. The proximate composition of both the products showed protein values above 25% and high mineral content, notably K (711 mg/100 g) and Fe (6 mg/100 g), which were higher than similar products in the Brazilian market. Therefore, monitoring the hygroscopic behavior and oxidative stability of both products was responsible for ensuring product stability for up to 105 days of storage, highlighting the recommendation to use packaging with low permeability to water vapor, oxygen and protection against luminosity. Furthermore, the addition of the synthetic antioxidant BHT (butyl hydroxytoluene) in the powdered bean broths extended the shelf life of the products.

Keywords: bean; product development; lipid oxidation; hygroscopicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grãos de feijão comum variedade Preto.....	17
Figura 2 - Grãos de feijão Caupi variedade Manteiguinha.....	19
Figura 3 - Estufa de secagem.....	21
Figura 4 – Liofilizador de bancada utilizado em laboratórios de pesquisa.	22
Figura 5 - Taxas relativas das principais alterações de alimentos em razão da atividade de água	24
Figura 6 - Modelo representativo de isotermas de sorção de umidade	24
Figura 7 - Representação gráfica dos tipos de isotermas de sorção de umidade	34
Figura 8 - Resultados da análise sensorial utilizada para a definição do método de secagem ideal para a produção dos caldos de (a) feijão preto e de (b) feijão manteiguinha	38
Figura 9 – Resultado da análise sensorial dos caldos de feijão liofilizados.	39
Figura 10 - Informações nutricionais para caldos de feijão preto e manteiguinha em pó.....	43
Figura 11 - Isotermas de sorção de umidade dos caldos de feijão em pó.	44
Figura 12 - Modelagem matemática para a predição da isoterma de sorção de umidade do caldo de feijão preto em pó.....	48
Figura 13 - Modelagem matemática para a predição das isotermas de sorção de umidade do caldo de feijão manteiguinha em pó.....	51
Figura 14 - Embalagem flexível metalizada (alumínio) utilizada para o acondicionamento dos caldos de feijão preto e manteiguinha em pó.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de área, produção e rendimento médio do feijão no Brasil nos meses de setembro e outubro de 2022.....	16
Tabela 2 - Modelos matemáticos para ajustes de isotermas de sorção de umidade.....	25
Tabela 3 - Escala hedônica usada no teste sensorial para avaliar os atributos sensoriais.	30
Tabela 4 - Descrição da escala usada para avaliar a intenção de compra	30
Tabela 5 - Condições operacionais para a determinação de Ca, Fe, K, Mg, Na e Zn por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).	32
Tabela 6 - Caldos de feijão em pó monitorados neste estudo	35
Tabela 7 - Resultados estatísticos obtidos a partir da avaliação sensorial realizada para os caldos de feijão preto e manteiguinha, a nível de significância 5%	40
Tabela 8 - Composição centesimal e perfil de minerais dos caldos de feijão em pó.....	41
Tabela 9 - Constantes e parâmetros obtidos a partir da modelagem matemática dos dados da isoterma do caldo de feijão preto em pó.....	46
Tabela 10 - Constantes e parâmetros obtidos a partir da modelagem matemática dos dados do isoterma do caldo de feijão manteiguinha em pó.....	49
Tabela 11 – Monitoramento da atividade de água (A_w) e oxidação lipídica dos caldos de feijão em pó durante 105 dias de armazenamento à 25 °C.....	55
Tabela 12 - Parâmetros de cor instrumental (CIELAB) dos caldos de feijão em pó durante o armazenamento.	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
	2.1. Objetivo geral.....	15
	2.2. Objetivos específicos	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
	3.1. Feijão: características gerais.....	16
	3.1.1. Feijão variedade Preto (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	17
	3.1.2. Feijão Caupi variedade manteiguinha (<i>Vigna unguiculata</i>).....	19
	3.2. Alimentos desidratados	20
	3.3. Isotermas de sorção	23
	3.4. Oxidação lipídica.....	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
	4.1 Aquisição da matéria-prima	28
	4.2 Desenvolvimento das formulações de caldo de feijão em pó	28
	4.3. Análise sensorial para a seleção da técnica de secagem e para a aceitação do produto final desenvolvido	29
	4.4. Composição centesimal e perfil de minerais dos caldos de feijão em pó.....	31
	4.5 Comportamento higroscópico dos caldos de feijão preto e manteiguinha em pó	32
	4.6 Monitoramento da estabilidade dos caldos de feijão em pó durante o armazenamento	34
	4.6.1. Atividade de água	35
	4.6.2. Cor instrumental	35
	4.6.3. Oxidação lipídica	35
	4.7. Análise estatística	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
	5.1. Desenvolvimento dos caldos de feijão em pó.....	37
	5.2. Análise sensorial.....	38
	5.3. Composição centesimal e perfil de minerais	40
	5.4. Comportamento higroscópico dos caldos de feijão em pó.....	44
	5.5. Monitoramento de estabilidade.....	52
6	CONCLUSÃO	58
	7. REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICES E ANEXOS	67

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma das leguminosas mais importantes e mais consumidas no mundo (Singh, 1999). Além de ser de fácil cultivo, o feijão é considerado como um alimento fonte de proteínas, muito utilizada por povos de baixa renda, como por exemplo, na África, onde a alimentação é escassa para a maior parte da população (Merga, 2020). O feijão é rico em nutrientes como zinco, tiamina (vitamina B1), ferro e compostos fenólicos (Abbade & Dewes, 2014).

Existem mais de 400 tipos de feijões, dentre esses podemos citar como mais consumidos no Brasil, o feijão Preto – Região Sul e Sudeste, o Carioca e o Caupi (Região Norte e Nordeste). O beneficiamento dos grãos de feijão para a comercialização resulta em grãos quebrados ou de tamanhos não padronizados, que são geralmente descartados por falta de adequação comercial, ou são utilizados como ração animal. No entanto, esses grãos ainda retêm os mesmos nutrientes que os grãos comercialmente viáveis (Basinello et. al., 2015).

Uma alternativa para minimizar o impacto do desperdício gerado com a produção de refugo durante o beneficiamento dos grãos de feijão seria o desenvolvimento de novos alimentos, a partir dos grãos quebrados e sem valor comercial, a qual além de reaproveitar um alimento antes descartado, enriquece outros alimentos, pois é fonte de proteínas, amido resistente e fibras solúveis. (Bento et al., 2021). Além de garantir a sustentabilidade e o reaproveitamento de subprodutos, o desenvolvimento de novos alimentos busca garantir inovações no mercado alimentício, aplicação de novas tecnologias e a melhoria das características sensoriais de alimentos. O conceito da tecnologia de alimentos está diretamente ligado a esses temas, pois busca a preservação dos alimentos através de um conjunto de técnicas e conceitos baseados em princípios científicos (EMBRAPA, 2022).

Neste estudo, a secagem de alimentos foi a abordagem tecnológica selecionada para o desenvolvimento de caldos em pó à base de feijão, como estratégia de desenvolvimento de novos produtos, e para minimizar o impacto do desperdício gerado com a produção de um refugo resultante do beneficiamento dos grãos de feijão. Tais produtos secos são caracterizados por apresentarem umidade reduzida, e por essa razão são considerados produtos mais estáveis do que os caldos na forma líquida. No entanto, os produtos secos são altamente higroscópicos, ou seja, possuem alta capacidade de adsorver a água livre disponível no ambiente que os circundam, e seus componentes podem estar susceptíveis às reações de oxidação caso não sejam armazenados de forma adequada.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi direcionado para o desenvolvimento de dois tipos de caldos em pó à base de feijão: um produto à base dos refugos de beneficiamento do feijão preto, sem adequação comercial; e um segundo produto à base de feijão manteiguinha, como estratégia de valorização deste tipo de feijão. Ambos os produtos foram desenvolvidos em atendimento à demanda solicitada pela empresa Gama Lopes Ltda., uma empresa beneficiadora de feijões localizada na cidade de Ananindeua, Pará. Além disso, a composição nutricional, os aspectos de rotulagem e as características sensoriais dos produtos desenvolvidos foram avaliadas, seguido da monitoração da estabilidade durante o armazenamento à temperatura ambiente, através da determinação das isotermas de sorção de umidade e da oxidação lipídica dos caldos em pó.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver dois caldos em pó à base de feijão (*Phaseolus vulgaris*), a partir das variedades de feijão preto e caupi (manteiguinha), para a indústria local Gama Lopes Ltda, seguido do monitoramento da estabilidade dos produtos durante o armazenamento.

2.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Reaproveitar o refugo dos grãos de feijão preto produzidos pela empresa Gama Lopes Ltda para o desenvolvimento de caldo de feijão em pó;
- Desenvolver o caldo de feijão em pó utilizando feijões caupi da variedade manteiguinha, como forma de disponibilizar uma alternativa para o consumidor a partir dessa variedade de feijão;
- Selecionar o melhor processo de secagem a ser utilizado na produção de ambos os caldos de feijão em pó;
- Determinar a composição centesimal dos produtos desenvolvidos;
- Avaliar a aceitação sensorial e intenção de compra dos caldos em pó;
- Monitorar as características higroscópicas e a estabilidade oxidativa de ambos os produtos durante o armazenamento à temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Feijão: características gerais

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é um alimento de grande importância na dieta dos brasileiros. Sabe-se que o consumo de feijão varia de acordo com a região, o local de moradia e a condição financeira do consumidor, bem como com o tipo e a cor de grãos, entre outros aspectos (Lopera et.al. 2019).

De uma forma simplificada, pode-se dizer que o consumo médio per capita de feijão na década de 1960 foi de 23 kg por ano. Por sua vez, nas décadas de 1970, 1980 e 1990, foi de, respectivamente, 20 kg, 16 kg e 17 kg por habitante por ano. No período de 1974 a 1975, o consumo metropolitano per capita foi de 16,5 kg por ano, enquanto o consumo rural foi quase o dobro: 32 kg por ano (Ferreira & Wander, 2021) e o consumo médio nacional de feijão estimado pelo CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) em 2018 foi de 3,15 mil toneladas por safra. Sobre a produção, dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), indicam que a primeira safra do ano de 2022 produziu em torno de 1.093.024 toneladas de feijão no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados de área, produção e rendimento médio do feijão no Brasil nos meses de setembro e outubro de 2022.

	Área (ha)			Produção (t)			Rendimento médio (Kg/ha)		
	Set.	Out.	Var.(%)	Set.	Out.	Var.(%)	Set.	Out.	Var.(%)
Feijão (total)	2770,2	2769,4	0	3037,5	3058,2	0,7	1097	1104	0,6
1ª safra	1428,3	1428,6	0	1084,7	1093,0	0,8	759	765	0,8
2ª safra	1106,1	1103,7	0	1297,8	1307,0	0,7	1173	1184	0,9
3ª safra	235,8	237,2	0,6	655,0	658,2	0,5	2778	2774	0

Fonte: IBGE, 2022.

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) é rico em proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. No Brasil, o feijão é bastante consumido em conjunto com o arroz formando uma refeição completa capaz de suprir a necessidade nutricional do consumidor. Em todo o mundo, o feijão é um dos grãos mais consumidos

principalmente em países com escassez de alimentos como a África, utilizado até como substituto da carne (Charrua et.al. 2021). A espécie *Vigna unguiculata*, conhecida como feijão caupi possui diversas variedades como manteiguinha, frade, corda e são cultivadas na Amazônia na época da baixa dos rios; e além disso, é uma espécie altamente resistente a climas secos e quentes (Sousa et.al., 2023).

Durante a estocagem dos grãos de feijão, ocorre deterioração gradativa, irreversível e cumulativa. A velocidade de deterioração depende do ambiente, da composição química e da condição física dos grãos no início do armazenamento. Essa perda de qualidade caracteriza-se por mudanças no sabor, escurecimento do tegumento dos grãos em cultivares com coloração clara (classe cores) e aumento do grau de dureza dos grãos, o que resulta em aumento do tempo de cozimento (Delfino & Canniatti-Brazaca, 2010).

3.1.1. Feijão variedade Preto (*Phaseolus vulgaris*)

No Brasil, os feijões (*Phaseolus vulgaris*) mais comuns são das variedades carioca e preto (Figura 1); no entanto, existem outras como branco, roxo, vermelho, dentre outros. Cada variedade tem uma nomenclatura definida pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento).

Figura 1 - Grãos de feijão comum variedade Preto.



Fonte: Autor.

No Brasil, o feijão preto pode ser amplamente encontrado a partir de três cultivares desenvolvidas pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (EMBRAPA, 2024):

- BRS ESPLENDOR (lançado em 2008): cultivar desenvolvida para os biomas Cerrado, Caatinga e Pampa, adaptada à colheita mecanizada direta, e apresenta resistência ao crestamento bacteriano comum, além de ser resistente ao mosaico dourado comum, moderadamente resistente à murcha bacteriana, murcha de *fusarium*, antracnose e ferrugem;

- BRS ESTEIO (lançado em 2012): cultivar desenvolvida para os biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pampa; apresenta o maior potencial produtivo, grãos com uniformidade de cor e tamanho, alto rendimento, excelente qualidade industrial, adaptada à colheita mecanizada direta; e apresenta resistência à antracnose e também reação intermediária à ferrugem; e

- BRS FP403 (lançado em 2019): cultivar desenvolvida para os biomas Cerrado, Caatinga e Pampa; adaptada à colheita mecanizada direta, e destaca-se pela resistência ao crestamento bacteriano comum, além de ser resistente ao mosaico dourado comum, moderadamente resistente à murcha bacteriana, murcha de *fusarium*, antracnose e ferrugem (Knabben, 2008).

O feijão é conhecido pelo seu alto teor de ferro, por exemplo, uma concha e meia de feijão cozido apresenta cerca de 1,5 mg de ferro, ou seja, 18% da quantidade de ferro necessária ao consumo/dia do homem (8 mg/dia) (Lovato et.al. 2018). A composição centesimal do feijão pode apresentar variações de acordo com o local de cultivo, fatores ambientais e o cultivar; O grão de feijão preto cru é composto por 13,3 g umidade, 37,6 g carboidratos, 22,4 g proteínas, 21,5 g fibras, 3,93 g cinzas, 1,28 g lipídios e os principais minerais (1441 mg potássio, 479 mg fósforo, 141 mg magnésio, 122 mg cálcio, 9,83 mg ferro, 3,37 mg zinco e 1,35 mg manganês), rico em vitamina B3 (4,69 mg), todos os dados estão em base seca em g/100 g ou mg/100 g de produto conforme a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA-USP, 2019). O caldo de feijão preparado com feijão preto, bacon, alho, cebola, óleo e sal apresenta a seguinte composição: 81,8 g umidade, 3,75 g carboidratos, 4,14 g proteínas, 4,26 g lipídeos, 5,12 g fibras, 0,97 g cinzas, 195 mg sódio, 171 mg potássio, 59,8 mg fósforo, 25,2 mg magnésio, 18,5 mg cálcio, 0,94 mg ferro, 0,23 mg manganês, 1,16 mg zinco (TBCA-USP, 2019).

3.1.2. Feijão Caupi variedade manteiguinha (*Vigna unguiculata*)

A espécie de feijão *Vigna unguiculata* apresenta diversas variedades, dentre elas podemos citar feijão manteiguinha (Figura 2), feijão-frade, feijão de corda. Essa espécie de feijão é cultivada em regiões próximas as margens dos rios na Amazônia. O grão cru de feijão Caupi é composto basicamente por 6 g umidade, 51,4 g carboidratos, 24,5 g proteínas, 2,2 g lipídios, 19,4 g fibras totais, 2,5 g cinzas e os minerais são distribuídos em 1430 mg potássio, 510 mg fósforo, 204 mg sódio, 140 mg cálcio, 6,8 mg ferro, 4,1 mg zinco e 1,5 mg manganês, todas as unidades estão em base seca por 100 g de produto (Frota, 2008). Alguns estudos também comprovaram que essa espécie de feijão possui elevados teores de compostos fenólicos totais (674,4 µg/g) e flavonoides totais (677,4 µg/g) (Vieira, Bezerra & Santos, 2021). O teor de proteínas do feijão Caupi é diretamente afetado pelo solo e clima onde os grãos são cultivados (Araújo, 2021).

Figura 2 - Grãos de feijão Caupi variedade Manteiguinha.



Fonte: Autor.

Atualmente, o feijão manteiguinha ainda é pouco comercializado no cenário mundial, pelo fato de apresentar um sabor característico, e ser bastante susceptível ao ataque de pragas, e conseqüentemente a deterioração, desde o cultivo até a comercialização (Castellon, 2003). Entretanto, existem diversas estratégias tecnológicas na área de alimentos que podem ser adotadas para contornar tal limitação, evitar o desperdício de alimentos e prolongar a vida útil do produto como, por exemplo, a desidratação.

3.2. Alimentos desidratados

A desidratação de alimentos é o processo (operação unitária) responsável pela remoção da água livre presente no alimento, resultando na redução de volume do produto (McCabe et al., 1991). A operação de desidratação envolve processos termodinâmicos de transferência de massa e de energia, e pode ocorrer através do emprego de altas ou baixas temperaturas (Wang, 2012). É importante mencionar que os processos de secagem devem ser rigorosamente monitorados quanto à temperatura utilizada, umidade relativa, velocidade do processo, e umidade inicial e final do alimento, pois todos esses fatores influenciam na qualidade do produto final seco (Coradi, 2019). A secagem é um processo amplamente utilizado pela indústria de alimentos, pois evita a proliferação de micro-organismos, uma vez que a maioria deles apresentam dificuldades para sobreviverem em ambientes com baixo teor de água livre, disponível para as funções metabólicas essenciais (Martins, 2020).

Existem diversos métodos de secagem para a desidratação/remoção de água dos alimentos, e podemos citar alguns amplamente utilizados pelas indústrias de alimentos como: secagem por estufa, secagem ao sol, secagem por pulverização (*spray dryer*), e a liofilização. A secagem por estufa (aplicação de calor) se dá através do aumento da temperatura do produto a ser desidratado, que força a evaporação da água livre, enquanto, em alguns tipos de estufas, a circulação do ar remove a umidade evaporada (McCabe et al., 1991).

Em estufas de secagem utilizadas em laboratório (Figura 3), na qual o alimento é distribuído em bandejas rasas e disposto no interior do equipamento, o ar quente garante a remoção da água livre do alimento por condução e por convecção, sendo esta técnica utilizada para materiais sólidos ou pastosos como sopas, grãos, entre outros. A secagem de grãos de feijão preto em estufa a 40 °C foi reportada como adequada para evitar as alterações indesejadas do produto, considerando que até o tempo de colheita do grão influencia em suas características posteriores como o teor de umidade, o peso e a germinação (Scariot et al., 2017).

Figura 3 - Estufa de secagem.



Fonte: Autor.

Além da secagem em estufa, outro processo de secagem pode ser empregado como uma importante alternativa para as indústrias de alimentos para o desenvolvimento de produtos alimentícios secos com características diferenciadas: a liofilização. A liofilização é um processo de secagem realizado em um equipamento denominado liofilizador (Figura 4), e está fundamentada na remoção da água, empregando baixas temperaturas e pressões, através do processo de sublimação.

O processo de liofilização pode ser realizado em três etapas: congelamento do material, desidratação primária e desidratação secundária. O congelamento é fundamental para garantir a formação de uma mistura de duas fases (cristais de gelo e concentrado de solutos), quanto maior a rede cristalina formada, mais fácil será a remoção da água disponível. Na primeira etapa da desidratação, a água é removida por sublimação, e essa etapa é finalizada quando é possível notar que a interface entre a camada seca e a congelada do material não é mais visível, e o produto seco apresenta temperatura próxima à do ambiente ($\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Ordonez, 2005). A desidratação secundária é utilizada para a remoção da água residual do produto parcialmente seco, e basta que o material seja mantido no interior do equipamento, sob vácuo, por mais 2-6 h, e for aquecido até sua temperatura se igualar à da placa ($20\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Garcia, 2009).

Figura 4 – Liofilizador de bancada utilizado em laboratórios de pesquisa.



Fonte: Autor.

A secagem permite a produção de alimentos de fácil preparo e de consumo imediato como, por exemplo, sopas em pó, leite em pó, frutas liofilizadas. No entanto, esses tipos de alimentos secos são altamente higroscópicos, e possuem alta capacidade de adsorver água do ambiente. Fato que pode ser evitado através do estudo de alguns parâmetros essenciais como a umidade e a atividade de água, a partir da determinação das isothermas de sorção de umidade do produto (Geankoplis, 2006).

Além da secagem, existem outras formas de conservação de um produto alimentício, como é o caso da adição de substâncias químicas, a exemplo dos antioxidantes, acidulantes, entre outros, que são capazes de prolongar a vida útil do alimento mantendo as suas características sensoriais e nutricionais. Existem dois grupos de aditivos, os naturais e os sintéticos, e dentre os tipos de aditivos existentes, os antioxidantes são amplamente utilizados em alimentos com o objetivo de inibir/reduzir a produção de espécies reativas pró-oxidantes, como os radicais livres, e inibir/atrasar o surgimento de reações oxidativas, como a oxidação lipídica. Os principais antioxidantes sintéticos utilizados pela indústria alimentícia são: butil hidroxitolueno (BHT), galato de octilo (OG), butil hidroxianisol (BHA), galato de propilo (PG), *terc*-butilhidroquinona (TBHQ), entre outros (Dalal, 2022).

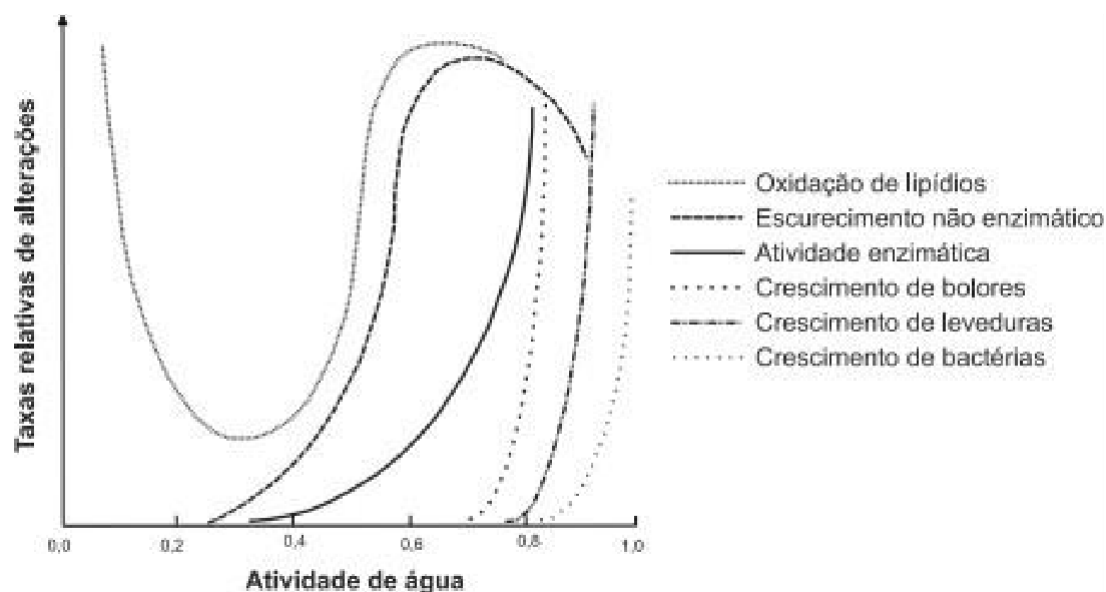
No Brasil, a adição de aditivos em sopas e caldos desidratados é autorizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da RDC nº 33, de 9 de março de 2001, e dentre esses podemos citar os antioxidantes, corantes, reguladores de acidez, antiemectantes e aromatizantes. Tais aditivos possuem funções específicas nos alimentos, e alguns são regulamentados quanto às quantidades máximas permitidas para a adição. De acordo com a RDC nº 33, de 9 de março de 2001, as sopas e os caldos prontos desidratados podem conter antioxidantes sintéticos com limite máximo de 200 mg/kg de BHA, e 100 mg/kg de BHT; além de antiemectantes como o fosfato tricálcico (341 iii), o estearato de magnésio (470 i), sais de alumínio, cálcio, e magnésio (ANVISA, 2001).

3.3. Isotermas de sorção

As isotermas de sorção de umidade são representações gráficas utilizadas para descrever o comportamento da água presente nos alimentos, os quais podem prever o tempo de secagem, vida útil, tipo de embalagem ideal a ser usada e a caracterização do produto (Alexandre et al., 2007). Além disso, as isotermas de sorção também podem determinar a capacidade de retenção de umidade, poder plastificante, entre outras propriedades importantes dos alimentos (Suppakul, P. et.al. 2013). A água é um dos principais componentes dos alimentos, participa da estrutura química, logo fica estabelecida a importância do estudo da interação da água do alimento com o meio. O teor de água livre no alimento é expresso pela a_w que é dada pela relação entre a pressão de vapor de água em equilíbrio sobre o alimento, e a pressão de vapor de água pura, à mesma temperatura.

Na Figura 5, estão descritos as curvas que representam as modificações nos alimentos durante um determinado período de tempo. Hoffman (2001) determinou que a maioria dos micro-organismos se desenvolve em ambientes com atividade de água (a_w) maior que 0,6, e no gráfico descrito por Robertson (2009) é confirmado essa teoria, no qual há crescimento de bolores, leveduras e bactérias.

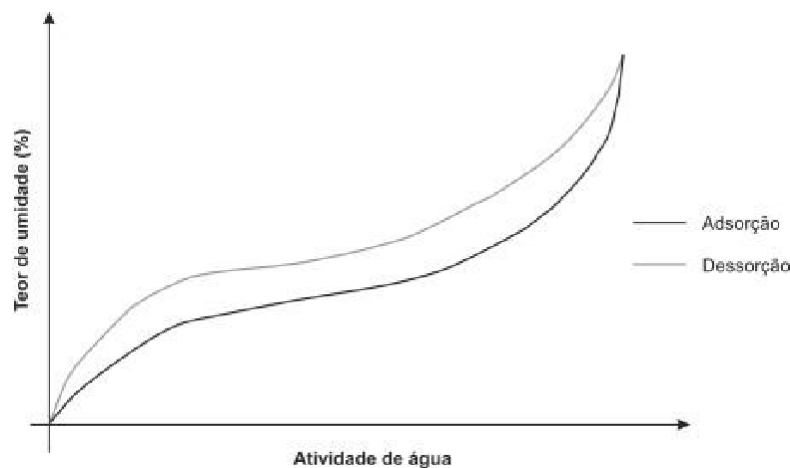
Figura 5 - Taxas relativas das principais alterações de alimentos em razão da atividade de água.



Fonte: Robertson, 2009.

As isotermas de sorção apresentam curvas crescentes e constantes conforme descrito na Figura 6, e isso pode ser explicado pelo fato de que o teor de umidade e a atividade de água são diretamente proporcionais. O ponto marcado pela mudança da direção da curva da isoterma é de extrema importância para definir o valor máximo em que o alimento adsorve água e inicia o processo de dessorção da umidade, evitando as mudanças indesejadas inerentes ao alimento (Park et.al. 2001).

Figura 6 - Modelo representativo de isotermas de sorção de umidade.



Fonte: Lewicki, 2009.

Existem diversos modelos matemáticos que podem ser empregados para a predição do comportamento de adsorção e dessorção da água, obtidos durante a construção das isotermas; alguns empíricos, teóricos, todos definidos a partir do estudo

da composição do alimento, a interação dos constituintes com a água presente, entre outros parâmetros (Park et.al. 2008). Para fins práticos e de estudos científicos, os modelos matemáticos mais utilizados nos experimentos para a predição das isotermas de sorção de umidade em matrizes alimentícias estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos matemáticos para ajustes de isotermas de sorção de umidade.

MODELO	EQUAÇÃO
BET (BRUNAUER, EMMETT e TELLER)	$X_{eq} = \frac{(X_m \times C \times a_w) \times (1 - (n + 1) \times a_w^n + n \times a_w^{n+1})}{(1 - a_w) \times (1 + (C - 1) \times a_w - C \times a_w^{n+1})}$
BET linearizado	$\frac{a_w}{(1 - a_w) \times X_{eq}} = \frac{1}{X_m \times C} + \frac{a_w \times (C - 1)}{X_m \times C}$
GAB (GUGGHENHEIM, ANDERSON e de BOER)	$X_{eq} = \frac{X_m \times C \times K \times a_w}{(1 - K \times a_w) \times (1 - K \times a_w + C \times K \times a_w)}$
HALSEY	$a_w = \exp\left(\frac{-A}{X_{eq}^B}\right)$
OSWIN	$X_{eq} = A \times \left(\frac{a_w}{1 - a_w}\right)^B$
PELEG	$X_{eq} = k_1 \times a_w^{B1} + k_2 \times a_w^{B2}$
HENDERSON (ASAE)	$1 - a_w = \exp[-(k \times X_{eq}^B)]$

Onde: X_{eq} = umidade de equilíbrio (kg/kg). X_m = umidade na monocamada molecular (kg/kg). a_w = atividade de água (adimensional). T = temperatura (°C). A, B, C, D, E, n, K, k_1 , k_2 , n_1 , n_2 são as constantes das equações. R = constante universal de gases (8,31 J/mol.K).

Os modelos de BET e GAB são modelos frequentemente utilizados para a avaliação do teor de umidade na região da monocamada dos alimentos, geralmente representado por X_m ou m_o ; além disso, permitem um entendimento físico da teoria da adsorção (Andrade et. al., 2011). O conteúdo de água na monocamada é aquela está fortemente ligada ao substrato e que proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade; e dependendo do alimento, é possível que nessa faixa ainda ocorram reações de deterioração como, por exemplo, a oxidação de lipídeos (Moreira et. al., 2013).

O modelo de GAB é o mais versátil para a predição de isotermas de sorção de umidade de farinhas de milho, alcançando uma faixa de atividade de água superior (0,9) ao modelo de BET (0,6); e Peleg foi considerado um modelo semelhante ao GAB relativamente à descrição dos dados sob as mesmas condições de temperatura (Peng et.al., 2007). Os modelos de Henderson e Chung-pfost foram considerados apropriados para predizer os dados de adsorção de água da farinha de amaranto (Pagano & Mascheroni, 2005). Portanto, cada modelo matemático pode ser considerado mais ou menos adequado para demonstrar o comportamento de adsorção ou dessorção de umidade em um determinado tipo de alimento, sendo diretamente relacionado às suas características intrínsecas de composição química. O modelo de Oswin por exemplo, não foi indicado para a predição das isotermas de dessorção de peras, em condições de secagem (Guiné, 2009).

3.4. Oxidação lipídica

A oxidação lipídica nos alimentos envolve uma série complexa de reações químicas entre o oxigênio molecular e os ácidos graxos insaturados, que além da deterioração da qualidade sensorial e nutricional dos alimentos durante o armazenamento, pode resultar na formação de substâncias tóxicas (Ferrari, 2023). A oxidação lipídica ocorre em três etapas principais: iniciação, propagação e terminação. Na fase de propagação, ocorre a formação dos hidroperóxidos, que são compostos bastante instáveis, dificultando sua detecção e monitoramento (Sevastian & Hochstein, 1985). Os principais produtos da oxidação lipídica são os hidroxiperóxidos, além de álcoois, ésteres, cetonas, aldeídos e hidrocarbonetos, que são responsáveis pela perda da qualidade dos alimentos, os quais podem ter suas características nutricionais (destruição parcial de ácidos graxos insaturados, como linoleico, lipídios, vitamina lipossolúveis e carotenoides) e sensoriais (odor, aroma e cor) prejudicadas (Ferrari, 2023).

Os principais catalisadores da oxidação lipídica de alimentos são o calor, a luz, enzimas, metais e micro-organismos. Durante a oxidação dos lipídeos, os ácidos graxos insaturados presentes no alimento podem ser decompostos em aldeídos reativos, que geram alterações diversas no alimento, como a formação de *off-flavor*, descoloração, perda de nutrientes e formação de compostos tóxicos (Nogueira, 2018). Essas reações podem ser evitadas com a adição de antioxidantes sintéticos e naturais, os quais são

capazes de inibir a formação dos radicais livres formados na etapa de iniciação e propagação, estendendo a vida útil do alimento (Barzan, 2023).

Para o monitoramento analítico do estágio inicial da oxidação lipídica em alimentos, podemos utilizar o método colorimétrico baseado na determinação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), a exemplo do composto malonaldeído (MDA), que é um produto secundário formado durante a oxidação de ácidos graxo insaturados, através da decomposição de hidroperóxidos (Silva et al., 1999). No entanto, caso o alimento esteja no estágio final de oxidação, este tipo de determinação analítica pode ser imprecisa, pois nessa etapa, os radicais livres responsáveis pela formação dos hidroperóxidos transformam-se em compostos mais estáveis, e a formação de MDA diminui conforme a indisponibilização do precursor (Centenaro et.al. 2009).

A quantificação de malonaldeído através do complexo malonaldeído-ácido tiobarbitúrico (MDA-TBA) é realizado a partir de uma reação ácida (pH 1-2) e alta temperatura (100 °C) (Silva et.al. 1999). Após a reação, as moléculas de MDA formam um complexo de cor vermelho-rosado que pode ser monitorado por espectrofotometria a 532-535 nm. A composição de alguns alimentos pode interferir diretamente nos resultados desse tipo de análise, pois o MDA só é formado na presença de ácidos graxos poli-insaturados; e alimentos ricos em sacarose e glicose podem apresentar interferência na reação colorimétrica (Silva et.al. 1999). De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA, 2019), os grãos de feijão preto crus apresentam em torno de 0,83 g/100 g de ácidos graxos poli-insaturados, e em uma feijoada esse teor pode aumentar para 1,58 g/100g. Dessa forma, o monitoramento da oxidação lipídica de produtos secos, contendo ácidos graxos poli-insaturados na composição, deve ser realizado para assegurar a qualidade nutricional e sensorial de produtos alimentícios durante o armazenamento até o consumo final.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Aquisição da matéria-prima

Para o preparo do caldo de feijão em pó, foram coletados 10 kg feijões da espécie *Phaseolus vulgaris* (variedade preto) e *Vigna unguiculata* (variedade caupi subclasse manteiguinha) na indústria Gama Lopes Ltda., sendo que o feijão preto foi obtido das frações separadas da embaladora, as quais não atendiam as exigências do mercado (refugo): tamanho, integridade, coloração, maturidade dos grãos.

4.2 Desenvolvimento das formulações de caldo de feijão em pó

Inicialmente, os grãos de feijão foram imersos em água destilada por um período de 12 h para a remoção dos principais antinutrientes e oligossacarídeos presentes no feijão, como fitatos e rafinose, respectivamente (Oliveira et.al. 2001). A água do remolho foi descartada.

Os grãos foram cozidos em água destilada 1:4 (m/v), e adicionados os seguintes ingredientes: sal de cozinha, colorífico, pimenta do reino em pó, tempero pronto sabor feijão, coentro fresco, cebola e alho desidratados, carne salgada tipo charque previamente cozida e dessalgada, linguiça calabresa e bacon. As porcentagens dos ingredientes foram padronizadas para todas as formulações e mantidas em sigilo, conforme acordo com a empresa Gama Lopes Ltda, sendo a única diferença entre as formulações a espécie de feijão usada. O tempo de cozimento sob pressão foi padronizado, em seguida o material foi triturado em processador de alimentos para a obtenção de uma pasta homogênea. Importante mencionar, foram realizados vários testes preliminares de formulação, sendo a formulação final dos caldos de feijão utilizada neste estudo aquela indicada como a mais aceita sensorialmente, após degustações informais, pelos responsáveis da empresa que encomendaram o desenvolvimento dos produtos.

Neste estudo, dois processos de secagem foram testados em laboratório para a obtenção dos caldos de feijão em pó (formulação final): a secagem em estufa e a liofilização.

Secagem em estufa: A pasta de feijão foi disposta em bandejas e levada para a estufa de secagem (Estufa Luca 80/81, Lucadema) a temperatura média de 65-70 °C, por tempo padronizado de 24-26 h, sendo realizadas as medidas de atividade de água e umidade para a determinação do tempo ideal da secagem. Esse processo de secagem foi realizado para ambas as formulações de feijão preto e feijão caupi. Os produtos secos obtidos foram embalados à vácuo, em embalagem de polietileno, e armazenadas em temperatura ambiente (~25 °C) até o momento das análises.

Liofilização: As duas formulações preparadas (caldo de feijão preto e caldo de feijão manteiguinha) foram dispostas em pequenas bandejas e levadas ao freezer até o completo congelamento dos caldos líquidos (8 h). O material congelado foi liofilizado (Liofilizador L101, Liotop) a -50 °C, durante 24-26 h, sob vácuo (250 mbar). Para este processo, as amostras obtidas foram embaladas em dois tipos de embalagem: polietileno e alumínio, sendo embaladas à vácuo e armazenadas à temperatura ambiente (~ 25 °C) até o momento das análises.

4.3. Análise sensorial para a seleção da técnica de secagem e para a aceitação do produto final desenvolvido

Num primeiro momento, foram aplicados teste sensoriais afetivos de aceitação e de intenção de compra nos caldos de feijão produzidos pelos dois métodos de secagem para que a melhor técnica fosse selecionada para dar prosseguimento ao estudo. Para esta finalidade, quatro amostras de caldo de feijão foram comparadas: caldo de feijão preto seco em estufa e caldo de feijão preto liofilizado, e caldo de feijão manteiguinha seco em estufa e caldo de feijão manteiguinha liofilizado.

Após a seleção da técnica de secagem com a maior aceitação sensorial e intenção de compra para cada caldo de feijão, um novo teste sensorial afetivo de aceitação e intenção de compra foi aplicado em ambos os produtos finais desenvolvidos: caldo de feijão preto e caldo de feijão manteiguinha.

Nos dois momentos, os testes afetivos de aceitação e intenção de compra dos caldos de feijão em foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da Universidade Federal do Pará (UFPA), estruturado com cinco cabines individuais contendo iluminação de coloração branca. As amostras

de caldo de feijão em pó foram suspensas em água aquecida a 70 °C, na proporção de 3:50 (m/v), conforme as indicações comumente adotadas para este tipo de produto.

Nos dois momentos, foram recrutados cem (100) provadores não treinados cada, de forma voluntária, de ambos os sexos, sendo estudantes, funcionários e visitantes da UFPA. Cada provador assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO I), concordando com que suas respostas fossem utilizadas na presente pesquisa, tendo sua identidade preservada. A análise sensorial foi realizada conforme a aprovação do Conselho de Ética da UFPA (CAAE 68643523.2.0000.5172).

O questionário aplicado no teste afetivo de aceitação utilizou uma escala hedônica de nove pontos, variando entre “gostei muitíssimo” (9) e “desgostei muitíssimo” (1) (Apêndice A), sendo avaliados os atributos sensoriais de sabor, aroma, cor, textura, e aparência global (Tabela 3).

Tabela 3 - Escala hedônica usada no teste sensorial para avaliar os atributos sensoriais.

VALOR	AVALIAÇÃO
9	() Gostei muitíssimo
8	() Gostei muito
7	() Gostei moderadamente
6	() Gostei ligeiramente
5	() Nem gostei nem desgostei
4	() Desgostei ligeiramente
3	() Desgostei moderadamente
2	() Desgostei muito
1	() Desgostei muitíssimo

Foi avaliada também a intenção de compra dos consumidores em uma escala estruturada entre os valores 4 e 6, representando as escolhas “certamente não compraria” (4) e “certamente compraria” (6) (Apêndice A), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição da escala usada para avaliar a intenção de compra.

VALOR	AVALIAÇÃO
4	() Certamente não compraria
5	() Talvez compraria
6	() Certamente compraria

4.4. Composição centesimal e perfil de minerais dos caldos de feijão em pó

A composição centesimal foi realizada para a formulação final do caldo de feijão preto e do caldo de feijão manteiguinha, após a seleção da melhor técnica de secagem. Os teores de umidade dos produtos em pó foram determinados pelo método de secagem em estufa a 105 °C, conforme AOAC (1990). Os lipídios totais foram determinados através da metodologia de extração a frio (Blight & Dyer, 1959). O teor de proteínas totais foi determinado com base no teor de nitrogênio total dosado pelo método Kjeldahl, conforme o procedimento da AOAC (1990), utilizando o fator de conversão de 6,25. Os teores de cinzas totais foram determinados pelo método gravimétrico após incineração em forno mufla a 550 °C (AOAC, 1990). As fibras brutas foram determinadas pelo método AOAC nº 920.86, e os carboidratos totais foram determinados por diferença entre os demais compostos [(100) – (% umidade + % lipídeos + % proteínas + % cinzas)]. Para compor a tabela nutricional dos caldos de feijão em pó desenvolvidos, foram determinados também os teores de açúcares redutores e totais pelo método espectrofotométrico do ácido dinitrosalicílico (ADNS), conforme Miller (1959). Todos os resultados da composição centesimal, em triplicata, foram expressos em g/100 g (%).

Para a determinação do perfil de minerais dos caldos de feijão em pó, as amostras foram digeridas em forno de micro-ondas com cavidade (Start E, Milestone, Itália). Aproximadamente 0,25 g de amostra foi pesada em triplicata nos frascos de digestão e em seguida 4 mL de ácido nítrico (7 M), 2 mL de H₂O₂ (30%, m/m) e 2 mL de água ultrapura foram adicionados. Após a digestão ácida, a solução obtida foi diluída com água ultrapura até completar um volume de 15 mL. O programa de aquecimento do forno de micro-ondas utilizado na digestão das amostras consistiu em três etapas: 1) rampa de aquecimento em 180 °C por 10 min a 800 W; 2) patamar em 180 °C por 15 min a 800 W; e 3) ventilação até atingir a temperatura ambiente (\approx 25 °C) por 50 min. A acidez final dos digeridos foi determinada por titulação e ajustada para 5% para a posterior determinação de Ca, Fe, K, Mg, Na e Zn por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES, iCAP 6500, Thermo Scientific, EUA), em equipamento com visão radial e axial. O gás utilizado para a manutenção do plasma foi argônio de pureza 99,999% (Velox gás, Ananindeua, Pará), e as condições operacionais do ICP-OES estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Condições operacionais para a determinação de Ca, Fe, K, Mg, Na e Zn por Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

Parâmetros	Condições Operacionais
Potência de rádio- frequência	1,15 kW
Vazão do Plasma	12 L/min
Vazão do gás auxiliar	0,5 L/min
Vazão do nebulizador	0,5 L/min
Vazão de amostra	1,0 mLmin
Nebulizador	Concêntrico
Câmara de nebulização	Ciclônica

4.5 Comportamento higroscópico dos caldos de feijão preto e manteiguinha em pó

As isotermas de sorção de umidade dos caldos de feijão preto e manteiguinha em pó foram obtidas conforme Souza *et al.* (2013). Foi considerado o teor de umidade *versus* A_w para a obtenção de gráficos das isotermas de adsorção e dessorção utilizando-se o software Microsoft Office Excel 2007 e Statistica 7.1.

As isotermas de sorção de umidade foram obtidas em equipamento analisador de sorção de vapor (Aqualab VSA, Decagon, Puma, WA, USA), utilizando o método DDI (*Dynamic Dewpoint Isotherm*) (DECAGON DEVICES, 2015). Amostras com aproximadamente 1 g, com precisão analítica, foram submetida aos processos de dessorção a $25 \pm 0,3$ °C, em diferentes umidades relativas (UR), as quais foram induzidas por alterações de vapor seco e saturado, com um fluxo de vapor de 100 mL/min. Os dados foram obtidos para um intervalo de a_w de 0,1 a 0,9, e foram utilizados, como critério de convergência para o equilíbrio, duas medidas consecutiva de $dm/dt \leq 0,05$, onde dm/dt é a relação entre a variação de massa e a variação de tempo, entre medidas sucessivas. A determinação de teor de umidade de monocamada (m_0) foi calculada utilizando a equação linear de Brunauer, Emmet e Teller (BET) (Equação 1) e GAB (Equação 2).

Equação 1: Modelo linear de BET

$$\frac{a_w}{(1 - a_w) \cdot m} = \frac{1}{m_0 \cdot C} + \frac{(C - 1)}{m_0 \cdot C} \cdot a_w$$

Equação 2: Modelo de GAB

$$X_{eq} = \frac{m_o \times c \times k \times a_w}{(1 - k \times a_w) \times (1 - k \times a_w + c \times k \times a_w)}$$

Onde, a_w = atividade de água (adimensional); m = umidade de equilíbrio (g/100 g base seca, b.s.); m_o = umidade da monocamada (g/100 g b.s.) e c, k = constantes relacionadas ao calor de sorção.

Os modelos matemáticos de BET, GAB, Peleg, Oswin e Handerson (Tabela 2) foram ajustados aos dados experimentais obtidos na construção das isotermas de sorção de umidade dos caldos em pó através de regressão não-linear utilizando o software Statistica 7.1. O algoritmo Levenberg-Marquardt foi definido com critério de convergência de 10^{-6} . Para a determinação da adequação dos modelos matemáticos para a predição dos dados de sorção de umidade, foram avaliados o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio médio relativo (P) (Equação 3).

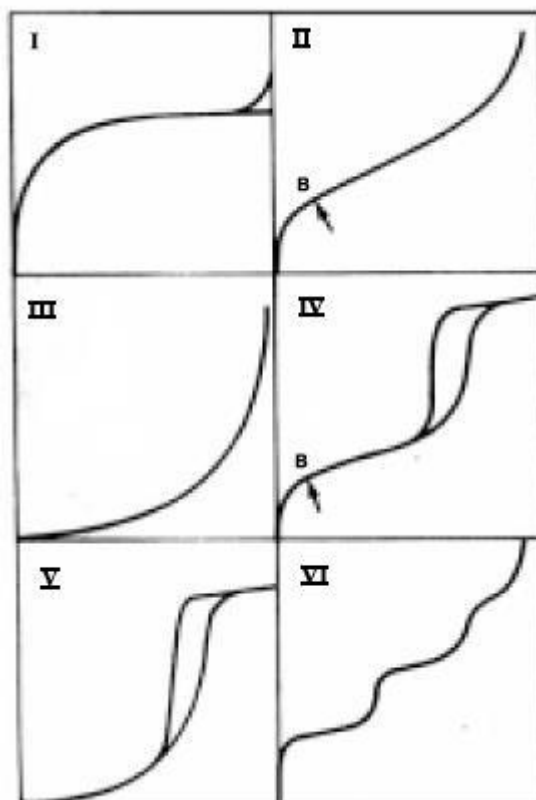
Equação 3: Desvio relativo médio (MRE%)

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|m_{exp,i} - m_{pre,i}|}{m_{exp,i}}$$

onde, m_{exp} = umidade de equilíbrio obtida experimentalmente (g H₂O/100 g b.s.); m_{pre} = umidade de equilíbrio predita pelo método ajustado (g H₂O/100 g b.s.); N = medidas experimentais.

O tipo de isoterma de sorção descrito pelo comportamento higroscópico dos caldos de feijão em pó foi identificado por comparação com os seis modelos gráficos IUPAC (1985) (Figura 7), sendo os modelos II e III mais frequentemente identificados em alimentos.

Figura 7 - Representação gráfica dos tipos de isotermas de sorção de umidade.



Fonte: IUPAC (1985).

4.6 Monitoramento da estabilidade dos caldos de feijão em pó durante o armazenamento

Para os experimentos de monitoramento da estabilidade dos caldos de feijão em pó durante o armazenamento, foram preparadas quatro formulações: duas sem a adição de antioxidante (controle), e duas com a adição do antioxidante sintético BHT (butil-hidroxitolueno), na concentração 0,01% (m/m) (Tabela 6), atendendo o limite máximo permitido pela ANVISA (RDC nº33, de 9 de março de 2001). O BHT foi adicionado nos caldos de feijões antes do processo de secagem, e todas as amostras foram embaladas à vácuo em embalagem de alumínio 12 x 15 cm e espessura de 0,042 μm , cedidas pela empresa Gama Lopes Ltda. Todas as formulações foram monitoradas relativamente à atividade de água, cor instrumental e oxidação lipídica durante 105 dias de armazenamento, à temperatura ambiente ($\approx 25\text{ }^\circ\text{C}$), e com intervalo de 15 dias entre as medidas analíticas.

Tabela 6 - Caldos de feijão em pó monitorados neste estudo.

Formulação	Sigla
Caldo de feijão preto	FP
Caldo de feijão preto + 0,01% BHT	FPB
Caldo de feijão manteiguinha	FM
Caldo de feijão manteiguinha + 0,01% BHT	FMB

4.6.1. Atividade de água

A determinação da atividade de água em todas as amostras foi realizada por medida direta em higrômetro Aqualab (AquaLab 4TE Dew Point Water Activity Meter, ALT, USA).

4.6.2. Cor instrumental

O monitoramento da cor instrumental foi realizado utilizando um espectrofotômetro colorímetro (modelo TEC6010, Tecnal, Brasil), por meio de medidas de refletância, com abertura de 4 mm, espaço de cor CIELAB, iluminante D65, ângulo do observador de 10° e componente especular excluída. Os valores das componentes L^* (luminosidade), a^* (vermelho-verde) e b^* (amarelo-azul) foram obtidas diretamente pelo equipamento.

4.6.3. Oxidação lipídica

O monitoramento da oxidação lipídica dos caldos de feijão em pó durante o armazenamento foi realizado através da determinação das substâncias reativas com o ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme descrito por Sri Raharjo et.al. (1992), adaptado.

Inicialmente, foi realizada a extração da fração lipídica a partir de 1,5 g de amostra (triplicata) com a adição de 5 mL de éter de petróleo, seguido de homogeneização e centrifugação a 1500 \times g por 10 min (Centrífuga 2-3, Sigma, Alemanha). O sobrenadante foi retirado e centrifugado novamente na centrífuga de

microtubos a 15630 x g por 15 min (Centrífuga CT-16000, CRALTECH, China). O éter de petróleo contido no sobrenadante recuperado foi evaporado em estufa a 105 °C por 15 min, e em seguida o óleo seco foi pesado (0,05 g), e diluído em 2 mL de *n*-butanol para a reação de TBARS.

Em tubos de ensaio com tampa rosqueáveis, foram pipetados 0,5 mL da amostra solubilizada em *n*-butanol, adicionado de 1 mL de solução de ácido 2-tiobarbitúrico 0,02 M (TBA) e 0,5 mL de *n*-butanol para completar o volume de 2 mL. Todos os tubos foram agitados em vórtex e submetidos ao banho-maria a 100 °C durante 15 min. Após o período de aquecimento, os tubos foram resfriados em banho de gelo e os produtos da reação (TBARS) foram medidos por espectrofotometria a 536 nm. O teor de TBARS foi calculado através da determinação das curvas analíticas construídas para o malonaldeído (MDA), na faixa de concentração de 3,12 a 100 µg/mL [$R^2 > 0,98$, limite de detecção (LD) = 0,06 µg/mL e limite de quantificação (LQ) = 0,19 µg/mL], respectivamente]. Os resultados, em triplicata, foram expressos em mg MDA/kg óleo.

4.7. Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos como média aritmética e desvio padrão (DP). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste de Tukey com nível de significância a 5%, para comparação das médias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Desenvolvimento dos caldos de feijão em pó

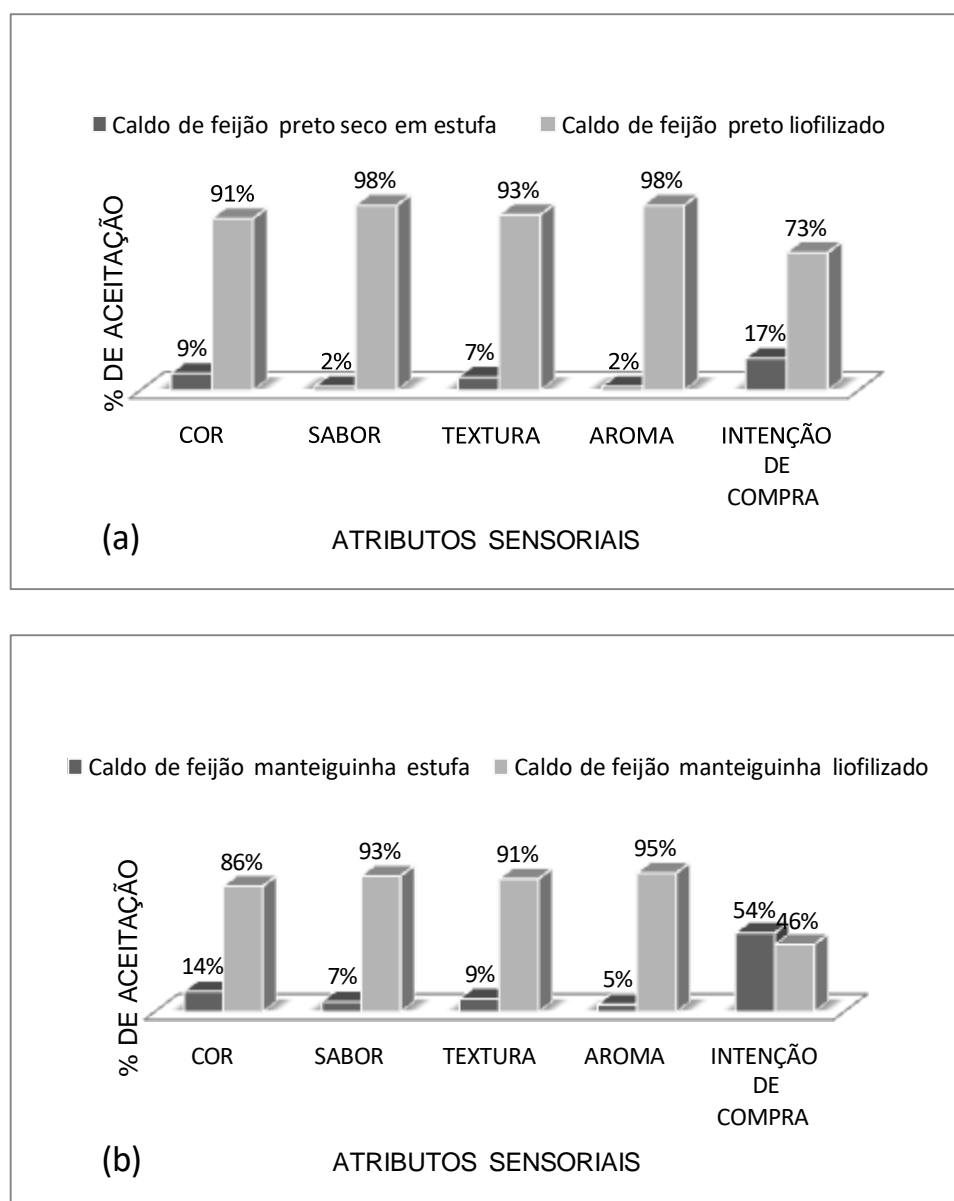
Foram realizados em torno de 10 testes prévios de formulação durante um período de 6 meses para obtenção das formulações ideais. As formulações mais promissoras foram analisadas inicialmente pelos responsáveis da empresa Gama Lopes Ltda., seguidas de análise sensorial com provadores não-treinados, autorizada pelo comitê de ética da UFPA (item 5.2).

As proporções dos insumos da formulação tiveram que ser ajustadas de forma que ao final do processo de secagem o produto apresentasse características semelhantes a um caldo de feijão *in natura*, conforme a demanda da Empresa Gama Lopes Ltda, que encomendou o estudo. As formulações foram desidratadas por dois métodos: estufa e liofilização. Neste estudo, conforme será constatado no próximo item (5.2), a secagem por liofilização apresentou a maior aceitação sensorial, e por essa razão foi selecionada como o método a ser utilizado no preparo definitivo dos caldos de feijão em pó, com rendimento final 10% (m).

5.2. Análise sensorial

Em um primeiro momento, a primeira análise sensorial definiu o método de secagem mais adequado a ser utilizado para a produção dos caldos de feijão em pó (Figura 8).

Figura 8 - Resultados da análise sensorial utilizada para a definição do método de secagem ideal para a produção dos caldos de (a) feijão preto e de (b) feijão manteiguinha.

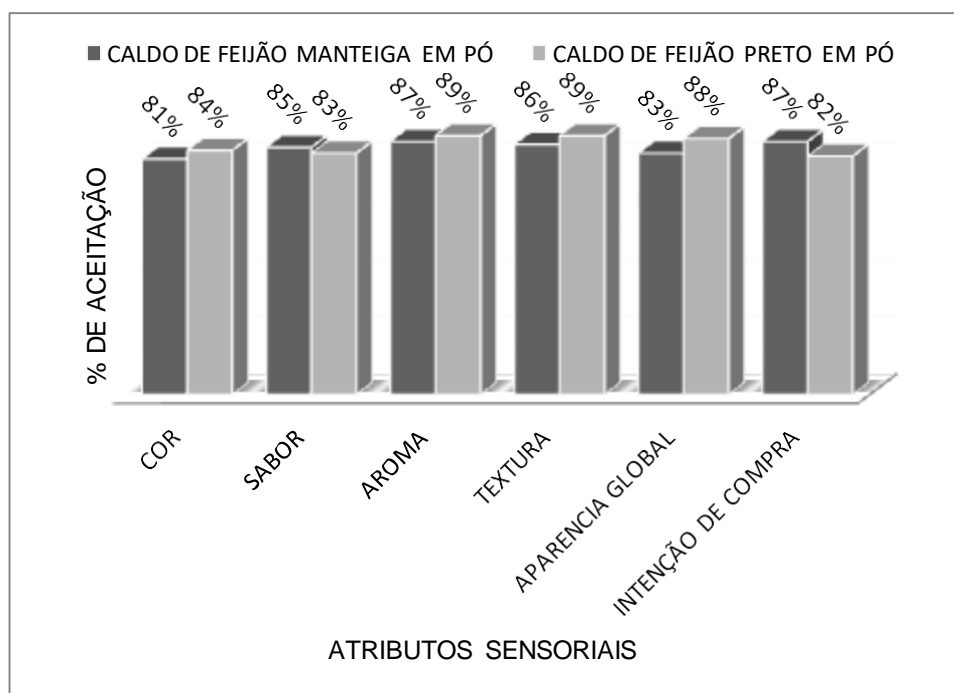


A secagem por liofilização foi o método que resultou na maior aceitação de todas as características sensoriais avaliadas, para ambos os caldos de feijão, incluindo a intenção de compra. Por esse motivo, somente as formulações liofilizadas seguiram para as próximas etapas do estudo: monitoramento de estabilidade. O processo de liofilização preserva as características sensoriais e nutricionais dos alimentos, que

geralmente são perdidas devido a susceptibilidade de componentes termolábeis degradados em processos de secagem com temperatura elevada, como na secagem em estufa (Ceballos et al., 2012). Segundo Evangelista (2005), o processo de liofilização tem por objetivo estabilizar produtos alimentícios por meio da diminuição da atividade de água, através de uma série de operações em que o material é submetido durante o processamento: congelamento, sublimação, e secagem a vácuo para posterior armazenagem do produto. Assim obtêm-se produtos de qualidade superior quando comparado à secagem convencional por estufa, facilidade de reconstituição (hidratação) e maior vida de prateleira.

No segundo momento, a segunda análise sensorial foi realizada com o objetivo de verificar a aceitação sensorial dos caldos de feijões preto e manteiguinha em pó na formulação final, e produzido por liofilização. Ambos os produtos tiveram excelente aceitação sensorial com destaque para o caldo de feijão preto em pó conforme a Figura 9.

Figura 9 – Resultado da análise sensorial dos caldos de feijão liofilizados.



Foi realizada uma análise estatística onde os parâmetros sensoriais possuem distribuição normal e pelo teste de Tukey, somente o parâmetro de aparência global apresentou diferença significativa conforme apresentado na Tabela 7 ($p < 0,05$).

Tabela 7 - Resultados estatísticos obtidos a partir da avaliação sensorial realizada para os caldos de feijão preto e manteiguinha, a nível de significância 5%.

Parâmetros estatísticos do teste de Tukey	f	p		Existe diferença significativa?
COR	0,879	0,349	$f > p$	Não
SABOR	1,2	0,3	$f > p$	Não
AROMA	3	0,07	$f > p$	Não
TEXTURA	2,4	0,12	$f > p$	Não
APARÊNCIA GLOBAL	0,4	0,5	$f < p$	Sim
INTENÇÃO DE COMPRA	1,9	0,17	$f > p$	Não

(Teste F) f: variação entre médias da amostra/variação dentro das amostras; p: p-valor

Os atributos de aroma e de cor não apresentaram diferença estatística significativa, pode ser explicado pelo tipo de secagem utilizado. Como os componentes do aroma não se encontram nem na água pura e nem nos cristais de gelo, durante o processo de sublimação estes não são arrastados pelo vapor de água e ficam retidos no alimento liofilizado. Por meio da liofilização, é possível reter 80% do aroma do alimento e seus componentes voláteis (Karel, 1975).

O teste sensorial afetivo aplicado permitiu concluir que o caldo de feijão preto apresentou maior aceitação sensorial, com relação a maioria dos parâmetros julgados. Importante ressaltar, que de acordo com as observações dos provadores, o caldo de feijão preto desenvolvido neste estudo apresentou grande semelhança ao caldo de feijão preto *in natura*. Outro aspecto importante está relacionado com o fator inovação, que também influenciou nos atributos sensoriais avaliados para o caldo de feijão manteiguinha, pois não se trata de um produto comumente produzido pela região, e esse tipo de feijão é geralmente consumido cozido na forma de saladas.

5.3. Composição centesimal e perfil de minerais

De acordo com os dados de composição centesimal (Tabela 8), o caldo em pó à base de feijão manteiguinha apresentou umidade de 4,82% e o produto à base de feijão preto 6,09%. As sopas em pó devem apresentar, no máximo, 10% de umidade (Oetterer, 2006); portanto, os caldos em pó desenvolvidos estão dentro da faixa limite.

Tabela 8 - Composição centesimal e perfil de minerais dos caldos de feijão em pó.

Componentes	Caldo de feijão preto em pó	Caldo de feijão manteiguinha em pó	Valor <i>p</i>
Umidade (%)	4,82 ± 0,18b	6,09 ± 0,11a	0,00
Cinzas (%)	12,82 ± 7,99a	8,48 ± 0,62a	0,40
Proteínas (%)	30,27 ± 0,71a	28,76 ± 0,99a	0,09
Lipídios (%)	12,64 ± 1,69a	12,66 ± 1,05a	0,99
Carboidratos (%)	39,44 ± 7,62a	44,01 ± 0,49a	0,36
Fibras brutas (%)	5,97 ± 0,54a	4,92 ± 0,22b	0,00
Zinco (Zn) (mg/100 g)	2,00 ± 0,15a	2,93 ± 0,27b	0,00
Ferro (Fe) (mg/100 g)	6,89 ± 0,21a	9,97 ± 0,32b	0,00
Magnésio (Mg) (mg/100 g)	75,5 ± 0,82a	93,0 ± 0,30b	0,00
Potássio (K) (mg/100 g)	711,6 ± 0,82a	696,7 ± 0,54b	0,00
Cálcio (Ca) (mg/100 g)	6,89 ± 5,33a	18,49 ± 0,81b	0,00
Sódio (Na) (mg/100 g)	2043 ± 0,34a	2045 ± 1,68b	0,02

Médias (base seca) na mesma linha seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Com relação ao teor de proteínas totais, os caldos em pó apresentaram valores entre 28-30% (Tabela 8), que são superiores ao estudo realizado para a sopa de quirela de arroz e feijão (13,85%) (Maciel et.al., 2011). O teor de lipídios encontrado foi em torno de 12% para ambas as amostras, fator relevante para o tempo de vida útil e tipo de embalagem a ser utilizada para o produto. Na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA-USP, 2019), o valor dado para lipídios na feijoada é de 6,5%, entretanto deve ser considerado que o caldo de feijão em pó é um produto altamente concentrado por conta do processo de secagem, por isso apresentou aproximadamente o dobro de lipídios.

Os valores de cinzas determinados foram 12,82 e 8,48% para os caldos de feijão preto e manteiguinha, respectivamente. As cinzas são basicamente todo o resíduo inorgânico presente na amostra após a incineração (Figueiredo, 2007), e temos como exemplo, o charque que possui 14,5% de cinzas e a feijoada *in natura* 1,4% (NEPA, 2011). Portanto, como os caldos em pó desenvolvidos apresentaram alto teor de cinzas, tal comportamento deve-se, provavelmente, à proporção de insumos utilizados na formulação de cada caldo.

Ambos os caldos de feijão apresentaram 5-6% de fibras brutas, valores aceitáveis, tanto a feijoada quanto os grãos de feijão cru da variedade caupi ou preto apresentam em média de 5-8% de fibras brutas em sua composição, conforme a Tabela TACO (NEPA, 2011).

Os minerais determinados para o caldo de feijão preto em pó foram zinco 2 mg/100 g, ferro 7 mg/100 g, magnésio 75 mg/100 g, cálcio 83 mg/100 g, potássio 712 mg/100 g e sódio 2043 mg/100 g. Em comparação aos valores reportados para feijoada *in natura* (mg/100 g): zinco 0,8 mg, ferro 1,3 mg, cálcio 32 mg, magnésio 32 mg, potássio 303 mg e sódio 278 mg (Tabela TACO) (NEPA, 2011), todos os teores encontrados foram superiores para os caldos desenvolvidos neste estudo. É importante mencionar que o consumo de minerais na alimentação é benéfico para o sistema fisiológico, e evita problemas de saúde como osteoporose, cardiopatias, entre outras desordens (Lovato et.al., 2018).

Os teores de minerais (Tabela 8) para o caldo de feijão manteiguinha em pó foram os seguintes: zinco 3 mg/100 g, ferro 10 mg/100 g, cálcio 18 mg/100 g, magnésio 93 mg/100 g, potássio 697 mg/100 g e sódio 2045 mg/100 g. Os valores de ferro e sódio foram maiores no caldo em pó do que os reportados para os grãos de feijão caupi cru (ferro 6,8 mg/100 g e sódio 204 mg/100 g) e os demais minerais apresentaram teores abaixo dos teores de minerais dos grãos (cálcio 140 mg/100 g, magnésio 19 mg/100 g, potássio 1430 mg/100 g e zinco 4 mg/100 g), conforme Frota (2008).

Para fins de comercialização, foi sugerida uma tabela com as informações nutricionais para ambos os produtos desenvolvidos neste estudo (Figura 10), conforme a nova regra de rotulagem nutricional dos alimentos embalados na ausência dos consumidores, inclusive aqueles destinados exclusivamente ao processamento industrial ou aos serviços de alimentação, descrito na RDC 429/2020 (ANVISA, 2020). Nos rótulos propostos, os teores de gorduras saturadas e gorduras *trans* não foram determinados analiticamente durante o período deste estudo. Os teores de fibras alimentares foram estimados com base nos dados da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO), uma vez que neste estudo, apenas os teores de fibras brutas foram determinados analiticamente. Além disso, o rótulo frontal de ambos os produtos deve conter a indicação de alto teor de sódio, pois ambos apresentaram concentrações superiores a 600 mg/100 g de produto. No entanto, ambos os produtos desenvolvidos apresentam teor de sódio abaixo (306 mg de sódio por porção) dos encontrados

atualmente no mercado brasileiro, como exemplo no caldinho de feijão instantâneo da marca Vono®, contendo 509 mg de sódio por porção, mais de 50% do valor obtido para os produtos desenvolvidos no estudo.

Figura 10 - Informações nutricionais para caldos de feijão preto e manteiguinha em pó.

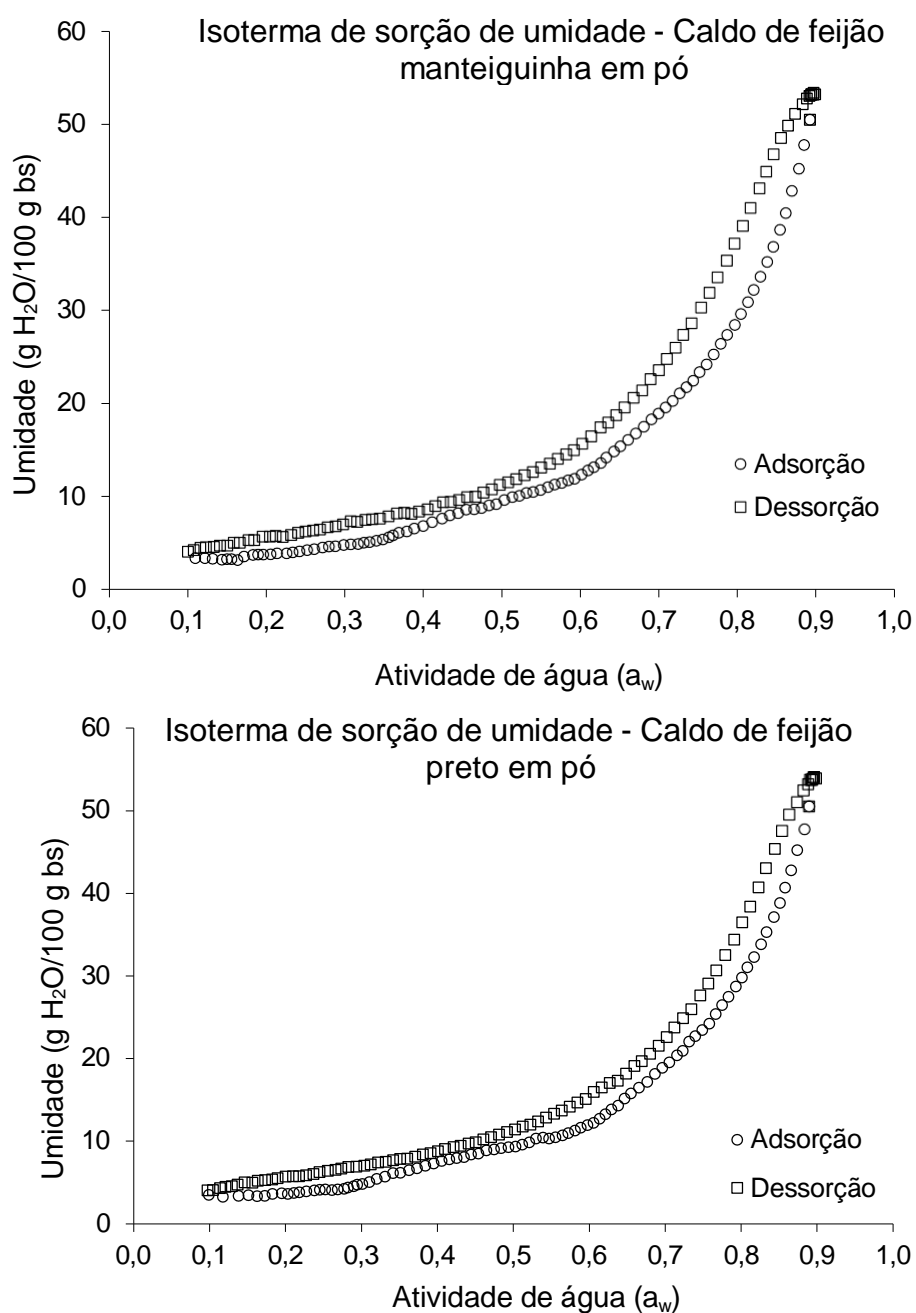
CALDO DE FEIJÃO PRETO EM PÓ					CALDO DE FEIJÃO MANTEIGUINHA EM PÓ				
INFORMAÇÃO NUTRICIONAL					INFORMAÇÃO NUTRICIONAL				
Porção por embalagem: 1	100 g	15 g	%VD*		Porção por embalagem: 1	100 g	15 g	%VD*	
Porção: 15 g (3 colheres de sopa)					Porção: 15 g (3 colheres de sopa)				
Valor energético (kcal)	409	61	3		Valor energético (kcal)	407	61	3	
Carboidratos (g)	44	7	2		Carboidratos (g)	44	7	2	
Açúcares totais (g)	1	0	0		Açúcares totais (g)	1	0	0	
Açúcares adicionados (g)	0	0	0		Açúcares adicionados (g)	0	0	0	
Proteínas (g)	30	5	9		Proteínas (g)	29	4	9	
Gorduras totais (g)	13	2	3		Gorduras totais (g)	13	2	3	
Gorduras saturadas (g)					Gorduras saturadas (g)				
Gorduras <i>trans</i> (g)					Gorduras <i>trans</i> (g)				
Fibras alimentares (g)	6	1	4		Fibras alimentares (g)	6	1	4	
Sódio (mg)	2043	306	15		Sódio (mg)	2045	307	15	
Cálcio (mg)	83	12	1		Cálcio (mg)	18	3	0	
Zinco (mg)	2	0	3		Zinco (mg)	3	0	4	
Magnésio (mg)	75	11	3		Magnésio (mg)	93	14	3	
Potássio (mg)	712	107	3		Potássio (mg)	697	105	3	
Ferro (mg)	7	1	7		Ferro (mg)	10	1	11	
*Percentual de valores diários oferecidos por porção.					*Percentual de valores diários oferecidos por porção.				

Fonte: Autor.

5.4. Comportamento higroscópico dos caldos de feijão em pó

As isotermas de sorção de umidade dos caldos de feijão manteiguinha (FM) e feijão preto (FP) em pó podem ser visualizadas pelos gráficos da Figura 11.

Figura 11 - Isotermas de sorção de umidade dos caldos de feijão em pó.



Durante o processo de adsorção, ambos os caldos de feijão em pó adsorveram 50,4% de umidade ao atingir a atividade de água de 0,89 à ~25 °C. Enquanto isso, no processo de dessorção, ambas as amostras alcançaram teor de 4% de umidade ao atingir

a atividade de água 0,1 à ~ 25 °C. Todas as isotermas desse estudo adequaram-se a classificação da IUPAC (1985) como tipo II (forma sigmoideal), que são isotermas comumente reportadas para matrizes alimentícias proteicas (Yanniotis & Blahovec, 2009). De maneira geral, as curvas de adsorção e dessorção para ambos os produtos apresentaram o comportamento de não-sobreposição para toda a faixa de atividade de água estudada, evidenciando o efeito da histerese. Dessa forma, a uma atividade de água e temperatura constantes, o produto adsorve menor teor de água durante o processo de adsorção quando comparado ao processo de dessorção subsequente. A explicação atual para a histerese afirma que os sítios de adsorção do alimento adsorvem a umidade conforme as suas energias superficiais. Durante a adsorção, microfissuras e fissuras são formadas nos alimentos para expor sítios adicionais de adsorção. Os sítios expostos incapazes de adsorver umidade em direção às condições de atividades aquáticas mais altas, devido a energias superficiais inadequadas, adsorvem umidade adicional no momento do retorno para condições de atividade de água mais baixos (Caurie, 2007).

A partir da visualização das isotermas de sorção observadas para ambos os produtos (Figura 11), podemos inferir o processo de adsorção de umidade assume um aumento mais acentuado de teor de umidade, a partir da atividade de água 0,6: 12,26% umidade para o caldo de feijão manteiguinha em pó e 12,15% para o caldo de feijão preto em pó. A atividade de água < 0,6 é considerada uma faixa segura para os alimentos secos, uma vez que não é observada a proliferação microbiana (Tapia et al., 2020). Portanto, considerando a elevada higroscopicidade observada para ambos os caldos de feijão em pó, aliado ao elevado teor de lipídeos ($\approx 12\%$) (Tabela 8), recomenda-se o acondicionamento desse tipo de produto em embalagens com características de baixa permeabilidade ao vapor de água e ao oxigênio, e que sejam recobertas com material capaz de proteger o alimento da exposição à luz.

Neste estudo, a predição do comportamento de adsorção e dessorção de umidade dos caldos de feijão em pó foram realizadas através de ajustes matemático dos principais modelos matemáticos utilizados para alimentos: BET, GAB, Peleg, Oswin e Henderson.

Para o caldo de feijão preto em pó, houve elevada similaridade no coeficiente de determinação dos modelos durante o ajuste ($R^2 > 0,99$) aos modelos matemáticos de Peleg e BET, tanto para a adsorção quanto para a dessorção (Tabela 9). Importante

ressaltar que, a neste estudo, a avaliação dos modelos matemáticos foi realizada através da verificação do elevado coeficiente de determinação (R^2) e do baixo desvio médio relativo (P), além de outras características como a elevada adequação do modelo simultaneamente para ambas as isotermas (adsorção e dessorção).

Tabela 9 - Constantes e parâmetros obtidos a partir da modelagem matemática dos dados da isoterma do caldo de feijão preto em pó.

BET	ADSORÇÃO	DESSORÇÃO
R ²	0,999	0,998
m ₀	6,429	7,666
c	2,793	3,853
n	29,637	21,973
P (%)	5,47	8,05
GAB		
R ²	0,999	0,996
m ₀	7,107	9,804
c	2,300	2,333
k	0,977	0,935
P (%)	6,19	11,32
PELEG		
R ²	0,999	0,999
k1	76,069	12,007
n1	6,877	0,471
k2	16,661	75,511
n2	0,959	4,980
P (%)	5,16	1,55
OSWIN		
R ²	0,999	0,995
a	7,269	12,556
b	1,042	0,702
P (%)	6,36	9,38
HENDERSON		
R ²	0,994	0,993
a	0,150	0,100
b	0,697	0,779
P (%)	18,48	19,35

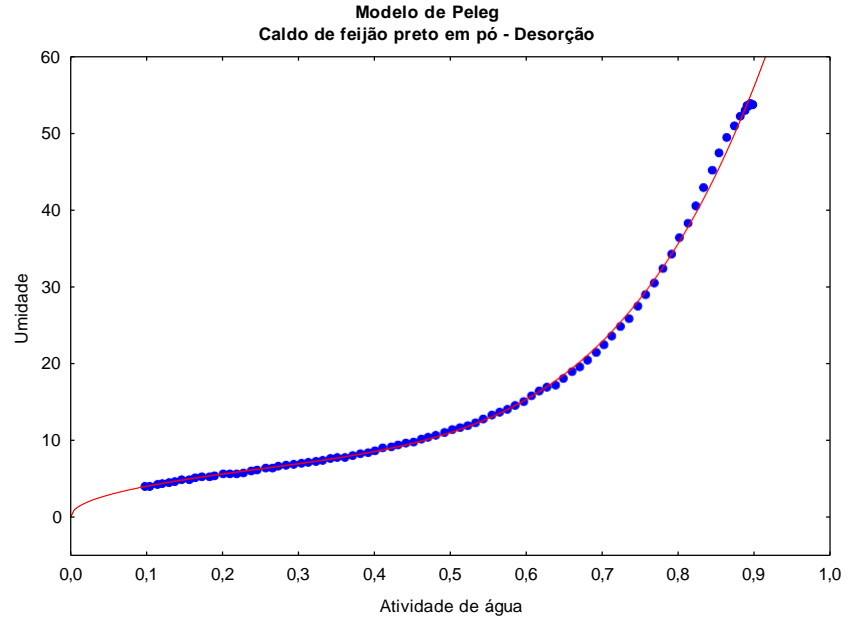
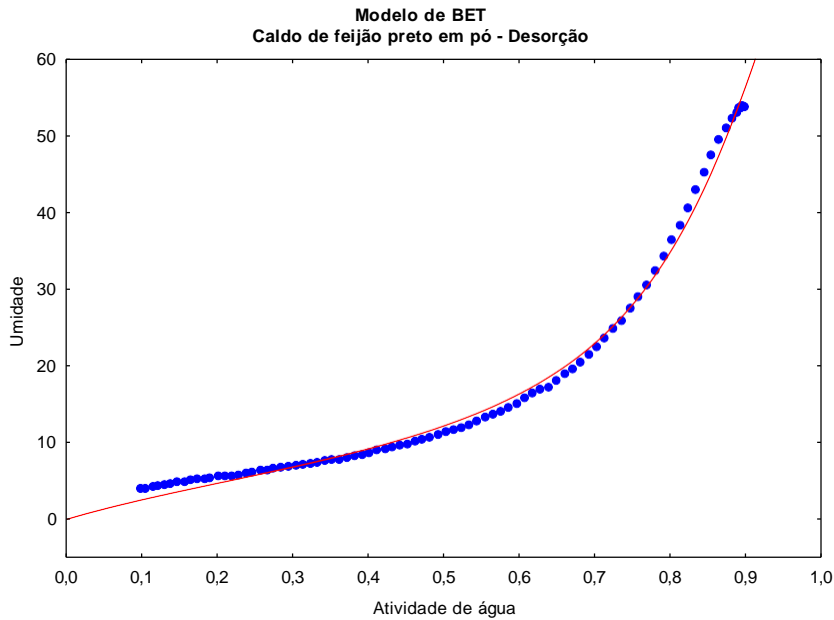
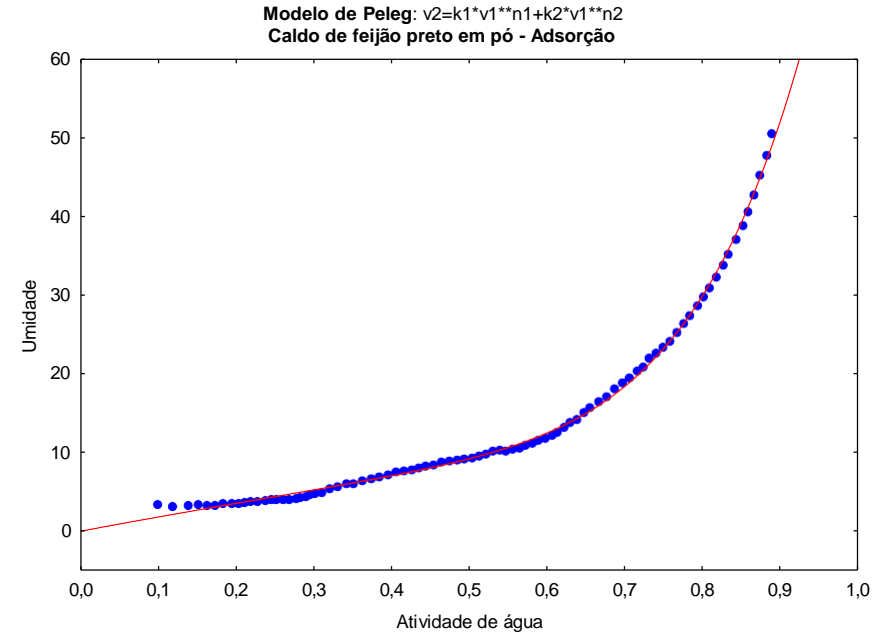
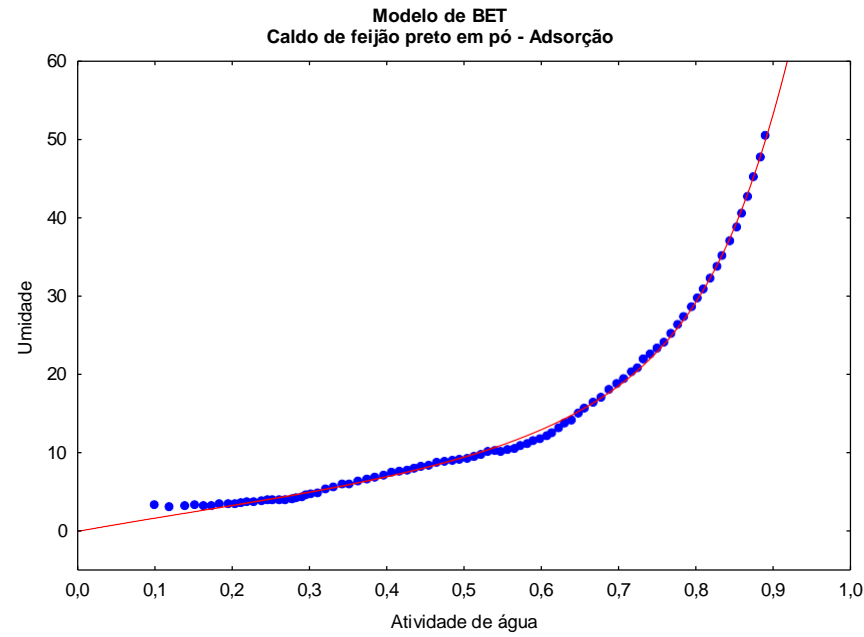
R²: coeficiente de determinação; m₀: água de monocamada; P (%): erro relativo médio; c,a,b,n,k: constantes do modelo.

A partir do R² e P (%) (Tabela 9), foi possível destacar o modelo de Peleg devido ao melhor ajuste matemático aos dados das amostras de caldo de feijão preto em

pó. O modelo de BET indicou os teores de 6,4 e 7,6 g H₂O/100 g (b.s, base seca) para os dados de água de monocamada (m_0) para a adsorção e a dessorção, respectivamente. Tais valores indicam o ponto em que as moléculas de água revestem a superfície de cada partícula do produto com a espessura de uma molécula (Brunauer, 1940). Portanto, durante o processo de secagem do caldo de feijão preto, o produto deverá ser mantido na faixa de 6-8% de umidade para manter as características desejadas e evitar gastos desnecessários energia, e custos de produção, durante o processo de secagem.

Na Figura 12, têm-se a representação gráfica dos modelos matemáticos de Peleg e BET para as isotermas de sorção de umidade do caldo de feijão preto em pó. Peleg propôs esse modelo empírico com quatro parâmetros ao testar o ajuste em dados de isotermas de sorção apresentados na literatura, obtendo ajustes comparáveis ou melhores que os resultantes da aplicação do tradicional modelo de GAB para valores de atividade de água inferiores a 0,9, podendo ser usado para isotermas sigmóides e não-sigmóides. Da mesma forma, Galdino (2003) também constatou que o modelo de Peleg apresentou melhor ajuste do que o de GAB ao avaliar as isotermas de adsorção do umbu em pó.

Figura 12 - Modelagem matemática para a predição da isoterma de sorção de umidade do caldo de feijão preto em pó.



Na Tabela 10, estão descritos os valores obtidos a partir dos modelos matemáticos ajustados aos dados das isotermas de sorção de umidade para o caldo de feijão manteiguinha em pó.

Tabela 10 - Constantes e parâmetros obtidos a partir da modelagem matemática dos dados do isoterma do caldo de feijão manteiguinha em pó.

BET	ADSORÇÃO	DESORÇÃO
R ²	0,999	0,997
m ₀	6,287	8,429
c	2,950	2,682
n	29,267	18,377
P (%)	5,41	10,45
GAB		
R ²	0,999	0,995
m ₀	7,084	14,494
c	2,318	1,172
k	0,973	0,877
P (%)	6,21	14,81
PELEG		
R ²	0,999	0,999
k1	17,308	8,948
n1	1,001	0,311
k2	73,655	73,038
n2	7,007	4,234
P (%)	5,74	3,03
OSWIN		
R ²	0,999	0,992
a	9,467	12,990
b	0,793	0,685
P (%)	6,05	10,23
HANDERSON		
R ²	0,994	0,993
a	0,147	0,093
b	0,705	0,797
P (%)	18,42	17,93

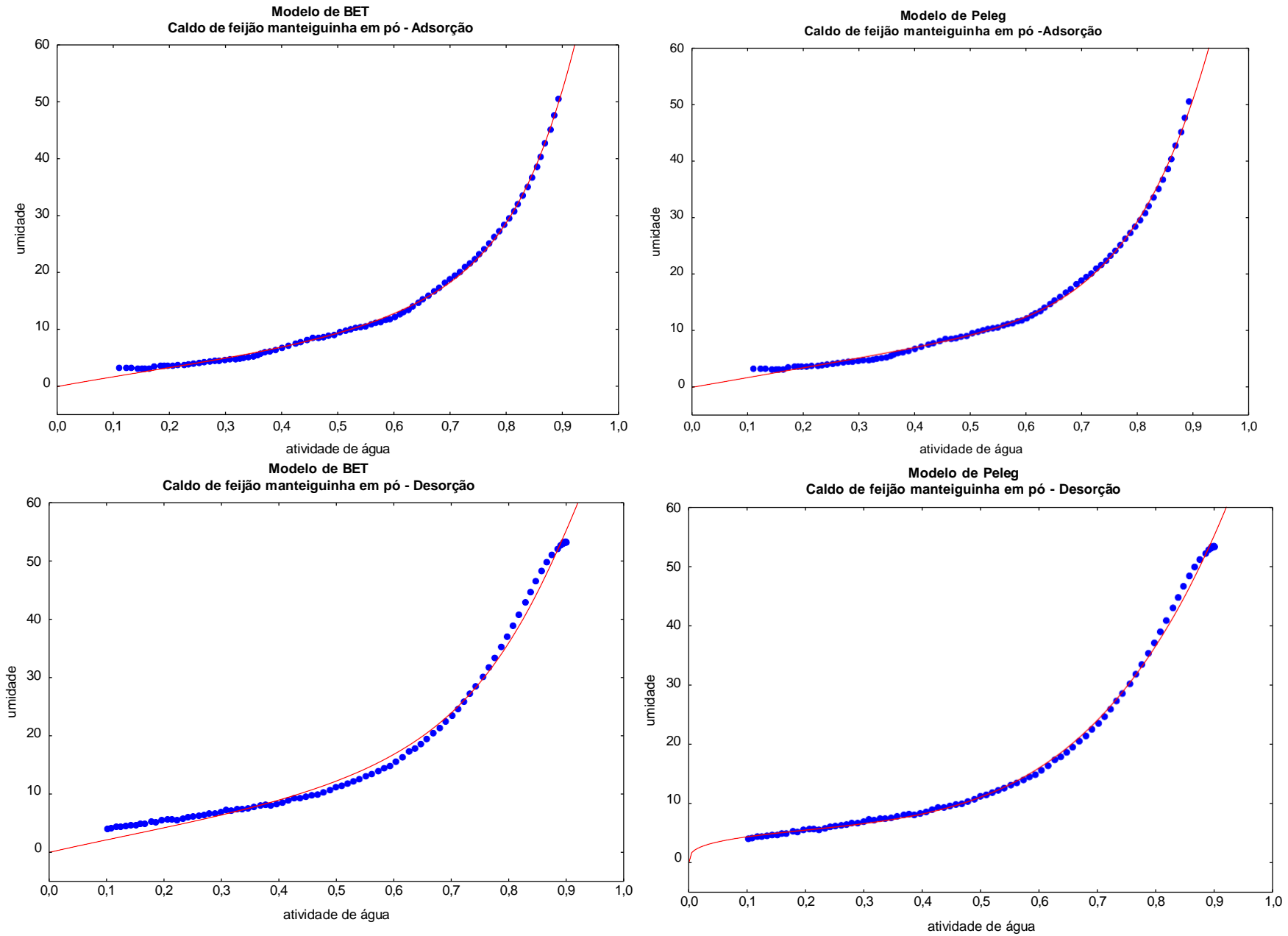
R²: coeficiente de determinação; m₀: água de monocamada; P (%): erro relativo médio; c,a,b,n,k: constantes do modelo.

Para o caldo de feijão manteiguinha em pó, o modelo de BET apresentou o melhor ajuste aos dados de adsorção (R²=0,999, P =5,41%), e o modelo de Peleg apresentou o melhor ajuste aos dados de desorção (R²=0,999, P =3,03%). De acordo com a literatura, o modelo matemático apresenta o melhor ajuste aos dados quando o R² está próximo de 1 e o P é inferior a 10% (Lomauro et al., 1985). Portanto, neste estudo, considerando os dados obtidos, o modelo selecionado para representar simultaneamente

as isotermas de adsorção e dessorção de umidade, para descrever o comportamento de higroscopicidade do caldo de feijão manteiguinha em pó, foi o modelo matemático de Peleg (Figura 13).

Os modelos de BET e GAB podem ser utilizados para determinar o valor da água de monocamada; no entanto, o modelo de BET apresentou os melhores parâmetros de ajuste ($R^2=0,999$, P (%)=5,41%), conforme a Tabela 10. Para o caldo de feijão manteiguinha em pó, os valores da água de monocamada 6,2 e 8,4 g H₂O/100 g (base seca) indicam que, assim como para o caldo de feijão preto em pó, o produto deverá ser mantido na faixa de 6-8% de umidade para manter as características desejadas e evitar gastos desnecessários energia, e custos de produção, durante o processo de secagem.

Figura 13 - Modelagem matemática para a predição das isoterma de sorção de umidade do caldo de feijão manteiguinha em pó.



5.5. Monitoramento de estabilidade

Os caldos de feijão em pó desenvolvidos são produtos altamente higroscópicos, com elevados teores de lipídios ($\approx 12\%$), e por essas razões a oxidação lipídica, a atividade de água e as mudanças de cor instrumental foram monitoradas em ambos os produtos durante um período de 105 dias de armazenamento em temperatura ambiente ($\approx 25^\circ \text{C}$) para determinar o tempo ideal de vida útil desses alimentos. Como parâmetro de comparação, duas formulações adicionais de caldo de feijão em pó, sem a adição de antioxidante sintético (BHT), foram monitoradas durante o mesmo período de armazenamento. Foram utilizadas embalagens flexíveis metalizadas, contendo uma camada de alumínio sobre o filme transparente como barreira ao oxigênio, ao vapor d'água, a vapores orgânicos e à luminosidade, para acondicionar à vácuo todas as amostras durante o monitoramento de estabilidade (Figura 14).

Figura 14 - Embalagem flexível metalizada (alumínio) utilizada para o acondicionamento dos caldos de feijão preto e manteiguinha em pó.



Fonte: Autor.

Para os caldos de feijão manteiguinha em pó, sem a adição de BHT (FM – controle) e com a adição do BHT (FMB), foi possível observar que a atividade de água aumentou de 0,07 (Tempo 0) para 0,40 e 0,46, respectivamente, confirmando a hipótese de que os produtos adsorveram umidade, mesmo acondicionados na embalagem flexível de alumínio. No entanto, para fins de comparação, o período para a adsorção de água observada durante o armazenamento foi superior ao tempo observado para as mesmas amostras acondicionadas em embalagem de polietileno transparentes utilizadas nos nossos testes preliminares (dados preliminares não mostrados na Dissertação). Fato que

comprova que o tipo de embalagem influencia diretamente nos parâmetros de qualidade de alimentos em pó.

Durante o período de monitoramento da estabilidade dos caldos de feijão em pó, todas as amostras apresentaram aumento da atividade de água em relação ao tempo inicial (Tabela 11). Entretanto, durante 105 dias de armazenamento, nenhuma amostra alcançou a faixa de atividade de água necessária favorável ao crescimento de micro-organismos ($> 0,6$) (Fonseca & Cantarelli, 1984).

Com relação à oxidação lipídica, ambos os caldos de feijão em pó preparados sem a adição de BHT na formulação (FM e FP) apresentaram valores elevados de TBARS (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico) a partir do 15º dia de armazenamento, exibindo alterações sensoriais perceptíveis durante a abertura das embalagens (odor, sabor e aroma característicos do produto). No entanto, as formulações FMB e FPB, ambas acrescidas de BHT na formulação, em concentração permitida pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), apresentaram valores de TBARS abaixo do limite de detecção do método espectrofotométrico aplicado ($0,06 \mu\text{g/mL}$), com exceção do baixo valor encontrado para o caldo de feijão manteiguinha em pó no tempo 105 dias ($2,39 \text{ mg TBARS/kg pó}$) (Tabela 11). Portanto, podemos considerar que, nos caldos de feijão desenvolvidos neste estudo, não foram detectados compostos secundários oriundos do processo de oxidação dos lipídeos capazes de resultarem em alterações sensoriais indesejáveis, como a percepção do “ranço”, até o 90º dia para o caldo de feijão manteiguinha e 105º dia para o caldo de feijão preto. Bertolini et al. (2011) apresentou dados em um estudo com charque, na qual a adição do BHT antes da oxidação da fração lipídica do produto conservou as características da carne durante 60 dias, sendo a ação antioxidante atribuída à estrutura química do BHT, que é capaz de doar eficientemente um próton para estabilizar o radical livre formado durante a peroxidação lipídica.

Não há dados oficiais na literatura que estabeleçam as faixas de valores de TBARS responsáveis pela percepção sensorial da oxidação lipídica em alimentos, incluindo os caldos e sopas em pó. No entanto, alguns autores sugerem valores de TBARS para ser utilizado como indicador de rancidez em carnes, como por exemplo, valores acima de $1,0\text{-}2,0 \text{ mg TBARS/kg}$ para carne de cabra (Verma & Sahoo, 2000) e acima de $3,0 \text{ mg TBARS/kg}$ para carne de peito de frango (Chouliara et al., 2008) e

salsicha fermentada (Wójciak et al., 2015). Em nosso estudo, os caldos de feijão manteiguinha e de feijão preto, sem a adição de BHT, apresentaram valores de TBARS superiores aos valores indicados pela literatura (para carnes) a partir do 15º dia (134 e 7,68 mg MDA/kg caldo de feijão em pó), respectivamente.

A adição de BHT foi eficiente para inibir a oxidação lipídica de ambos os caldos de feijão, sendo considerada uma estratégia importante a ser adotada pela empresa do setor alimentício interessada na comercialização desse tipo de produto. Vale ressaltar que o caldo de feijão manteiguinha adicionado de BHT (FMB) começou a apresentar valores (baixos) de TBARS (2,39 mg MDA/Kg caldo de feijão em pó) a partir do 105º dia de armazenamento, fato que pode ser explicado pelas diferentes susceptibilidades que as matérias-primas desse estudo possam apresentar durante o processo de oxidação antes e depois da produção do produto ou a análise de TBARS pode estar indicando a formação de outros compostos, como por exemplo outros aldeídos, que reagem com o ácido tiobarbitúrico (Araújo, 1995).

Com relação ao monitoramento da cor instrumental dos caldos de feijão desenvolvidos neste estudo, a Tabela 12 mostra os parâmetros de L^* , a^* e b^* de cada produto durante o período de armazenamento de 105 dias à temperatura ambiente.

Tabela 11 – Monitoramento da atividade de água (A_w) e oxidação lipídica dos caldos de feijão em pó durante 105 dias de armazenamento à 25 °C.

Tempo (dias)	Atividade de água (A_w)				TBARS (mg MDA/kg caldo de feijão em pó)			
	FM	FMB	FP	FPB	FM	FMB	FP	FPB
0	0,07 ±0,006i	0,07 ±0,008i	0,07±0,005i	0,08±0,004i	2,30 ±1,28b	< LD	5,22 ±0,38c	< LD
15	0,27 ±0,002gh	0,32 ±0,019f	0,22±0,006h	0,31±0,021ef	134,0 ±9,37a	< LD	7,68 ±0,38c	< LD
30	0,26 ±0,004h	0,28±0,003gh	0,26±0,008g	0,30±0,004f	74,46 ±8,03c	< LD	48,35 ±4,43d	< LD
45	0,28 ±0,004g	0,36±0,001de	0,27±0,006g	0,32±0,001ef	38,55 ±3,23e	< LD	51,27 ±0,59d	< LD
60	0,31 ±0,005f	0,36±0,004e	0,39±0,002cd	0,32±0,004e	40,86 ±6,69de	< LD	27,14 ±6,23cd	< LD
75	0,39 ±0,003bc	0,39±0,002bc	0,39±0,003bcd	0,37±0,003d	41,28 ±6,54de	< LD	90,66 ±0,83b	< LD
90	0,38 ±0,002cd	0,45±0,002a	0,41±0,003b	0,37±0,001d	66,59 ±8,28c	< LD	57,30 ±4,92abd	< LD
105	0,40 ±0,003b	0,46±0,004a	0,39±0,002bc	0,43±0,003a	64,14 ±8,28cd	2,39 ±0,45b	207,49 ±33,0a	< LD

Médias na mesma coluna seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). < LD: valores abaixo do limite de detecção (0,06 µg/mL). MDA: malonaldeído; FM: caldo de feijão manteiguinha desidratado; FMB: caldo de feijão manteiguinha desidratado com adição de BHT. FP: caldo de feijão preto desidratado; FPB: caldo de feijão preto desidratado com adição de BHT.

Tabela 12 - Parâmetros de cor instrumental (CIELAB) dos caldos de feijão em pó durante o armazenamento.

Tempo (dias)	Feijão manteiguinha (FM)			Feijão manteiguinha + BHT (FMB)			Feijão preto (FP)			Feijão preto + BHT (FPM)		
	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
0	60,5a	+12,8bc	+32,6a	61,7abc	+13,4a	+31,7a	34,8b	+5,3d	+12,5cd	43,7ab	+5,9a	+14,1a
15	62,0a	+14,3b	+28,1ab	63,3ab	+7,6b	+23,9b	38,1b	+10,3a	+19,4a	42,7b	+6,1a	+13,9a
30	60,4a	+14,2b	+27,2abc	61,4abc	+7,1b	+24,6b	37,1b	+9,4ab	+17,1ab	43,8ab	+6,4a	+13,6a
45	60,4a	+14,6ab	+27,5abc	62,9abc	+7,6b	+25,4b	38,4b	+9,3ab	+16,4abc	43,1b	+5,2ab	+13,7a
60	58,2a	+17,1a	+28,0ab	57,3bc	+6,8b	+24,3b	36,2b	+9,6ab	+16,1abc	40,7b	+5,4ab	+14,9a
75	54,1a	+12,7bc	+21,5bc	65,4a	+4,9c	+19,2c	36,8b	+8,1c	+13,5bcd	49,0a	+3,9b	+8,2b
90	54,9a	+12,0bc	+24,9abc	56,9c	+6,8bc	+23,4b	33,7b	+8,7bc	+16,2abc	41,3b	+5,5ab	+14,7a
105	62,0a	+10,6c	+19,7c	62,0abc	+6,1bc	+24,5b	46,2a	+6,4e	+10,4d	41,7b	+5,6a	+14,4a

Médias com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

A perda de coloração dos alimentos está diretamente ligada a perda de qualidade e resulta na perda da aceitação do produto pelos consumidores (Oliveira, 1995). Nesse estudo, o caldo de feijão manteiguinha em pó não apresentou alteração estatística significativa ($p < 0,05$) para o parâmetro L^* , durante o período de armazenamento, para as amostras sem (FM) e com a adição de BHT (FMB) (Tabela 12), sugerindo que a adição do antioxidante não influenciou na luminosidade do produto. Com relação à componente a^* , de maneira geral para todo o período de armazenamento, a flutuação de valores observada não parece ser expressiva para indicar que o caldo de feijão manteiguinha em pó exibiu perda da componente que caracteriza a cor vermelha em ambos os tratamentos. Por outro lado, houve decréscimo mais acentuado dos valores da componente b^* para o caldo em pó sem o BHT (FM, $\Delta b^* = -12,9$), quando comparado com o produto com BHT (FMB, $(\Delta b^* = -7,2)$), atribuindo a característica de perda de coloração amarelada para ambos os pós após 105 dias de armazenamento, sendo a perda menos intensa quando o antioxidante sintético foi adicionado.

Para o caldo de feijão preto em pó, de maneira geral, não foram observadas alterações expressivas e/ou perceptíveis nos produtos em pó, com ou sem a adição do BHT, durante o período de 105 dias de armazenamento (Tabela 12), sugerindo que a adição do antioxidante sintético não influenciou na percepção da cor dos produtos. O caldo de feijão preto (FP) pôde ser caracterizado como um produto mais escuro ($\Delta L^* = -25,7$, no tempo 0) do que o caldo de feijão manteiguinha (FM), e também menos amarelado ($\Delta b^* = -20,1$, no tempo 0).

6 CONCLUSÃO

A partir deste estudo, foi possível desenvolver dois produtos de interesse, conforme encomendado pela empresa Gama Lopes Ltda: (1) caldo de feijão preto em pó, produzido a partir dos refugos de feijão da fábrica, e o (2) caldo de feijão manteiguinha em pó, produzido como estratégia de desenvolvido de novo produto da empresa.

Sensorialmente, os caldos de feijão preto e manteiguinha apresentaram elevada aceitação dos provadores (> 80%); contudo, a o caldo de feijão preto foi o produto que apresentou a maior aceitação no teste sensorial afetivo. Vale destacar, ambos os caldos de feijão em pó desenvolvidos neste estudo foram produzidos através da secagem por liofilização, devido a maior aceitação sensorial pelos consumidores (90%), em comparação com os mesmos produtos secos por estufa convencional.

Com relação à composição nutricional dos caldos de feijão desenvolvidos, ambos os produtos apresentaram elevados teores de minerais, especialmente o potássio, além de elevados teores de proteínas (28-30%). No entanto, o teor de sódio foi considerado elevado, devido ao fato de estar presente também na composição de todos os insumos utilizados na formulação.

O comportamento higroscópico foi capaz de definir com exatidão os pontos onde os produtos adsorvem água do ambiente, e assim contribuir com informações para reduzir o custo operacional de produção, pois o processo de liofilização, apesar de preservar com maior eficiência os constituintes nutricionais e sensoriais dos alimentos durante a secagem, ainda hoje é considerado de elevado custo para a indústria alimentícia.

Finalmente, a adição de antioxidante sintético (BHT) nos caldos de feijão em pó contribuiu para a estabilidade oxidativa de ambos os produtos durante o período de 105 dias de armazenamento, e sugeriu a redução da perda de coloração amarelada característica do caldo de feijão manteiguinha.

7. REFERÊNCIAS

ABBADE, E.B. DEWES, H., 2014. Brazilian dry beans and food security in developing countries. *J. Agribus. Dev. Emerg. Econ.* 4 (2), 115-132. Emerald Group Publishing.

ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. DE M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.7, p.11-20, 2007.

ANDRADE, R. D.; LUMES, R.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: Uses and limitations. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmaceutica* v.18, p.325-334, 2011.

ANVISA, 2001. RESOLUÇÃO-RDC Nº 33, DE 9 DE MARÇO DE 2001. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_33_2001_.pdf/6b1b7de2-e2c9-4194-ac77-e71fd11f2754

ANVISA, 2020. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 429, DE 8 DE OUTUBRO DE 2020 (Publicada no DOU nº 195, de 9 de outubro de 2020).

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists volume 1. 1990 [s.l.] Rarebooksclub.com.

ARAÚJO, J. M. A. Química de Alimentos: Teoria e Prática Viçosa: Imprensa Universitária, 1995.

ARAÚJO, L. B. R., Barroso Neto, A. M., Bertini, C. H. C. de M., Lopes, L. de S., & Gallão, M. I.. (2021). Influence of the environment and production components on the protein content of green cowpea grain. *Revista Ciência Agronômica*, 52(2), e20207251. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210037>.

BARZAN, G. et. al. Development of innovative antioxidant food packaging systems based on natural extracts from food industry waste and *Moringa oleifera* leaves. *Food chemistry*, v. 432, n. 137088, p. 137088, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137088>.

BASSINELLO, P.Z., CARVALHO, A.V., RIOS, A.D.O., MACIEL, R.D.A., BERRIOS, J.D.J., 2015. Expanded gluten-free extrudates made from rice grits and bandinha (bean) flour mixes: main quality properties. *J. Food Process. Preserv.* 39, 2267–2275.

BENTO, J. A. C., BASSINELLO, P. Z., MORAIS, D. K., SOUZA NETO, M. A. DE, BATAUS, L. A. M., CARVALHO, R. N., SOARES JÚNIOR, M. S., 2021. Pregelatinized flours of black and carioca bean by-products: Development of gluten-free instant pasta and baked snacks. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100383>

BERTOLIN, T. E., MARGARITES, A. C. F., GIACOMELLI, B., FRUETTI, A., HORTS, C., & TEIXEIRA, D. M. DE F.. (2011). Ficocianina, tocoferol e ácido ascórbico na prevenção da oxidação lipídica em charque. *Brazilian Journal of Food Technology*, 14(4), 301–307. <https://doi.org/10.4260/BJFT2011140400036>

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução – CNNPA n.12, de 24/07/1978 – Dispõe sobre normas técnicas especiais. Disponível em: www.anvisa.gov.br Acesso em 10 de julho de 2008.

BRUNAUER, S., DEMING, L. S., DEMING, W. E., & TELLER, E. (1940). On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. *Journal of the American Chemical Society*, 62(7), 1723–1732. <https://doi.org/10.1021/ja01864a025>

CASTELLÓN, R. E. R., ARAÚJO, F. M. M. C. DE ., RAMOS, M. V., ANDRADE NETO, M., FREIRE-FILHO, F. R., GRANGEIRO, T. B., & CAVADA, B. S.. (2003). Composição elementar e caracterização da fração lipídica de seis cultivares de caupi. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 7(1), 149–153. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100024>

CAURIE, M. (2007), Hysteresis phenomenon in foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 42: 45-49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01203.x>

CEBALLOS, A. M., GIRALDO, G. I., & ORREGO, C. E. (2012). Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 360-365. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.010>
» <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.010>

CENTENARO, A. et.al. Avaliação da formação de malonaldeído através do método de índice de TBARS durante a estocagem de produto cárneo. IV Simpósio de alimentos, 2009.

CHARRUA, A. B. et al. Food security and nutrition in Mozambique: Comparative study with bean species commercialised in informal markets. *Sustainability*, v. 13, n. 16, p. 8839, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13168839>

CHOULIARA, E.; BADEKA, A.; SAVVAIDIS, L.; KONTOMINAS, M.G. 2008. Combined effect of irradiation and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of chicken breast meat: microbiological, chemical and sensory changes. *European Food Research and Technology* 226: 877-888.

CORADI, P. C., SOUZA, A. H. S. DE ., CAMILO, L. J., LEMES, Â. F. C., & MILANE, L. V. (2019). Analysis of the physical quality of genetically modified and conventional maize grains in the drying and wetting processes. *Revista Ciência Agronômica*, 50(3), 370–377. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190044>

DALAL, K., THBAYH, B. F. Computational study of synthetic and natural polymer additives — Antioxidant potential of BHA, TBHQ, BHT, and curcumin, *Polymer Degradation and Stability*, Volume 201, 2022, 109979, ISSN 0141-3910. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.109979>.

DELFINO, R. DE A., & CANNIATTI-BRAZACA, S. G.. (2010). Interação de polifenóis e proteínas e o efeito na digestibilidade proteica de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Pérola. *Food Science and Technology*, 30(2), 308–312. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000200003>

EMBRAPA (2024). Cultivares de feijão da Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso em 22 de janeiro de 2024, disponível em <https://www.embrapa.br/en/cultivar/feijao>

EMBRAPA. (2022). Tecnologia de alimentos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso em 01 de novembro de 2022, disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos>

EVANGELISTA, J. Conservação de alimentos _ Tecnologia de alimentos. São Paulo: Atheneu, 652p. 2005.

FERRARI, K. B. C. Oxidação lipídica em alimentos e sistemas biológicos: Mecanismos gerais e implicações nutricionais e patológicas. *Revista de Nutrição*, [S. l.], v. 11, n. 1, 2023. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/nutricao/article/view/8551>. Acesso em: 9 nov. 2023.

FERREIRA, de b; Petrônio, E; Fátima, O. DA S.,; WANDER, A. E. Produtividade e viabilidade econômica do feijoeiro-comum coinoculado. 2021.

FIGUEIREDO. Determinação de cinzas e conteúdo animal – cinzas. 2007. 30p. Disponível em: . Acesso em: 02/11/2015.

FONSECA, H.; CANTARELLI, P. R. Princípios e métodos gerais de conservação de alimentos pelo controle da umidade, por preservativos e por radiações: embalagens. In: CAMARGO, R.; FONSECA, H. Tecnologia dos produtos agropecuários: alimentos. São Paulo: Nobel, 1984. p. 97-112.

FROTA, K. DE M. G., SOARES, R. A. M., & ARÊAS, J. A. G.. (2008). Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. *Food Science and Technology*, 28(2), 470–476. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200031>

GALDINO, P.O. Desidratação de polpa de umbu. Universidade Federal de Campina Grande - Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2003, 92 f. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola).

GARCIA, L. P. Liofilização aplicada a alimentos. 2009. 45p. Trabalho Acadêmico (Graduação Bacharelado em Química de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS, 2009.

GEANKOPLIS, C. J., *Transport Processes and Unit Operations*. 3a ed. Prentice-Hall International, Inc., 2006. 921 p.

GUINÉ, R.P.F. Sorption isotherms of pears using different models. *Int J Food Sci* 2009; 9(1):11-22.

HOFFMANN, F. L. – Fatores Limitantes á proliferação de microrganismos em alimentos- BRASIL ALIMENTOS – nº 09 – Julho/Agosto de 2001.

KAREL, M. Dehydration of foods. In: FENNEMA, O. R. *Principles of food science*. New York: Marcel Dekker, 474p. 1975.

KNABBEN, C. C. Manual de classificação do feijão : Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008 / Clóvis Costa Knabben, José Souza Costa. - Brasília, DF: Embrapa, 2012. 25 p. : il. ; 21 cm. ISBN 978-85-7035-058-9 1. Feijão – Classificação de produto. I. Costa, José Souza. II. Título. III. Embrapa Arroz e Feijão. CDD 635.652. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101039/1/manualilustrado-06.pdf>

LEWICKI, P.P. Data and models of water activity. II: Solid Foods. In: RAHMAN, M.S. Food Properties Handbook. 2^oed, New York: CRC Press, 2009, cap 4, p.68-152.

LOPERA, D., GONZALEZ, C., BIROL, E. The Important Role of the Common Beans in Providing Food and Nutrition Security, Editor(s): Pasquale Ferranti, Elliot M. Berry, Jock R. Anderson, Encyclopedia of Food Security and Sustainability, Elsevier, 2019, Pages 226-230, ISBN 9780128126882, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21536-9>.

LOVATO, F., KOWALESKI, J., SILVA, S. Z. DA ., & HELDT, L. F. S.. (2018). Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biorfortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). Brazilian Journal of Food Technology, 21. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.6817>

MACIEL,R. DE A. CARVALHO,A.V. BASSINELLO, P. Z. 2011. Perfil de aminoácidos de sopa de arroz e feijão elaborada por extrusão. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 15., 2011, Belém, PA. A ciência de fazer ciência: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

MARTINS MCP, CUNHA TL, SILVA MR. 2008. Efeito das condições da desidratação osmótica na qualidade de passas de caju-docerrado. Ciênc Tecnol Alimen.; 28 (Supl): 158-65.

MCCABE, W. SMITH, J.; HARRIOT, P. Unit operations of chemical engineering. 5a ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1991. 1130 p.

MERGA, JT., 2020. Avaliação de variedades de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para diferentes espaçamentos em Jimma, Sudoeste da Etiópia. Heliyon, 6 (8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04822>

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. , Analytical Chemistry Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MOREIRA, T. B., ROCHA, É. M. F. F., AFONSO, M. R. A., & COSTA, J. M. C. DA .. (2013). Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental, 17(10), 1093–1098. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000011>

NOGUEIRA, L. S., Processamento, caracterização e avaliação da atividade antioxidante de hambúrgueres formulados com farinha de cogumelo *eryngii* (*Pleurotus eryngii*), 2018.

OETTERER, M. E., REGITANO-D'ARCE, M. A. B., & SPOTO, M. H. F. (2006). Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos. Barueri: Manole, 612p.

OLIVEIRA, M. A. et al. Comportamento físico, químico e culinário de raízes de mandioca cv IAC 576-70, processadas como "minimamente processadas", tratadas com ácido cítrico e hipoclorito de sódio e embaladas a vácuo em sacos de polietileno, por 4 semanas a 40 C. In: Simpósio Latinoamericano de Raíces e Tuberculos, 2., 2001, Lima, Peru. Anais.. Molina: Universidad Nacional Agrária La Molina. p. 11.

OLIVEIRA, M. V. Efeito do armazenamento no branqueamento de grãos de café beneficiado: modelagem matemática do processo. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1995.

ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2005. 294p.

PAGANO, A.M., MASCHERONI, R.H. Sorption Isotherms for Amaranth Grains. J Food Eng 2005; 67:441-450.

PARK, K. J. B. et.al. Considerações termodinâmicas das isotermas. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.10, p.83-94, 2008.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus sp.*) Com e sem desidratação osmótica. Food Science and Technology, v. 21, n. 1, p. 73–77, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612001000100016>

PENG G, CHEN X, WU W, JIANG X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. J Food Eng 2007; 80(2):652-567.

RAHARJO, S. et.al. Improved Speed, Specificity, and Limit of Determination of an Aqueous Acid Extraction Thiobarbituric Acid-C₂'s Method for Measuring Lipid Peroxidation in Beef. J. Agrlc. Food Chm. 1992, 40, 2182-2185

ROBERTSON, G. L. Food quality and indices of failure. In: ROBERTSON, G. L. (Ed.). Food packaging and shelf life: a practical guide. Boca Raton: CRC, 2009. p. 17-30.

SCARIOT MA, TIBURSKI G, REICHERT FW, RADÜNZ LL, MENEGUZZO MRR. Moisture content at harvest and drying temperature on bean seed quality. *Pesqui Agropecu Trop* [Internet]. 2017Jan;47(1):93–101. Available from: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4743135>

SEVANIAN, A., HOCHSTEIN, P. Mechanisms and consequences of lipid peroxidation in biological systems. *Annual Reviews of Nutrition*, Palo Alto, v.5, p.365-390, 1985.

SILVA, F. A. M., BORGES, M. F. M., & FERREIRA, M. A.. (1999). Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. *Química Nova*, 22(1), 94–103. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000100016>

SINGH, 1999. Melhoramento de cultivares mesoamericanas de raças de sementes pequenas. SP Singh (Ed.), *Common Bean Improvement in the Twenty-First Century*, Kluwer, Dordrecht (1999) , pp . 225-274

SOUSA, G. A. et al. Qualidade nutricional e armazenamento de variedades de feijão-caupi cultivados no Juruá, Acre. **Delos**, v. 16, n. 43, p. 752–773, 2023. DOI: 10.55905/rdelosv16.n43-017.

SOUSA, K. A.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de dessecção das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.216-222, 2013.

SUPPAKUL, P.; CHALERNSOOK, B.; RATISUTHAWAT, B.; PRAPASITTHI, S.; MUNCHUKANGWAN, N. Empirical modeling of moisture sorption characteristics and mechanical and barrier properties of cassava flour film and their relation to plasticizingantiplasticizing effects. *LWT-Food Science and Technology*, v. 50, n. 1, p. 290-297, 2013.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TBCA). Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.0. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.tbca.net.br/index.html>

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl.. -- Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.161 p. . São

Paulo, 2011. [Acesso em: 08 de novembro de 2023]. Disponível em: http://https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf

TAPIA, M.S., ALZAMORA, S.M., CHIRIFE, J. Effects of Water Activity (a_w) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation, Chapter 14. Book Editor(s):Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Anthony J. Fontana Jr., Shelly J. Schmidt, Theodore P. Labuza. First published: 17 April 2020. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch14>

VERMA, S.P.; SAHOO, J. 2000. Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending. *Meat Science* 56: 403-413.

VIEIRA, M. M. DA S., BEZERRA, J. M. & SANTOS, A. F. DOS, 2021. Avaliação dos compostos bioativos e capacidade antioxidante em cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) imaturo cru, cozido e seus caldos de cocção. *Research, Society and Development*, 10(7), e3710716243.

WANG, J.C., & LIAPIS, A. I. (2012). Water–water and water–macromolecule interactions in food dehydration and the effects of the pore structures of food on the energetics of the interactions. *Journal of Food Engineering*, 110, 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.008>

WÓJCIAK, K.M.; KARWOWSKA, M.; DOLATOWSKI, Z. J. Fatty acid profile, color and lipid oxidation of organic fermented sausage during chilling storage as influenced by acid whey and probiotic strains addition. *Sci. Agric.* v.72, n.2, p.124-131, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0110>

YANNIOTIS, S.; BLAHOVEC, J. (2009). Model analysis of sorption isotherms. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 1688-1695. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.05.010>

APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE A – Ficha de avaliação sensorial

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL

NOME: _____ IDADE: _____ DATA: _____

Você costuma consumir caldos e sopas? ()SIM ()NÃO

Você conhece o feijão caupi? ()SIM ()NÃO |

você gosta de feijão caupi? ()SIM ()NÃO

Você está recebendo duas amostras: **caldo de feijão preto e caldo de feijão caupi-manteiguinha**. Avalie as amostras usando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou. Comente se as amostras se assemelham ao caldo de feijão caseiro e o que pode melhorar em relação aos parâmetros avaliados.

1. Desgostei muitíssimo
2. Desgostei muito
3. Desgostei regularmente
4. Desgostei ligeiramente
5. Indiferente
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei regularmente
8. Gostei muito
9. Gostei muitíssimo

Baseado na avaliação das amostras, **indique na escala abaixo o grau de certeza** que você compraria ou não estes produtos.

4. Certamente não compraria
5. Talvez compraria
6. Certamente compraria

ANEXO I – TCLE**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)**

Você está sendo convidado (a) a participar desta pesquisa. As informações contidas neste termo serão fornecidas por Juliana Setúbal Dias (pesquisadora responsável), com a finalidade de firmar acordo escrito, para que você possa autorizar sua participação com pleno conhecimento da natureza dos procedimentos e riscos a que se submeterá, podendo sair da pesquisa a qualquer momento, sem prejuízo algum.

1. Título da pesquisa: Desidratação e estabilidade de caldos a base de feijão (*Phaseolus vulgaris*) das variedades preto e manteiguinha.

2. Objetivo principal: Desenvolver um produto que tenha características semelhantes ao caldo de feijão in natura com o mínimo possível de aditivos.

3. Justificativa: Obter um novo produto que agrade ao paladar dos consumidores e apresente características nutricionais semelhantes ao alimento in natura, sendo um produto de fácil e rápido preparo, que possa ser utilizado para substituir uma refeição.

4. Procedimentos: Você receberá amostras de caldo de feijão de 2 variedades, devem ser experimentadas (não obrigatório ingestão), o aroma e a cor devem ser observados. Todas suas características devem ser julgadas e anotadas na ficha de avaliação.

5. Riscos: Durante a pesquisa poderá ocorrer dispersão dos seus dados pessoais e das informações do seu questionário, para que isso não aconteça, seu nome será identificado com suas iniciais e as informações serão manipuladas apenas pelas pesquisadoras e utilizadas somente neste estudo.

6. Benefícios:

7. Retirada do Consentimento: Você tem a liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo, sem nenhum prejuízo.

8. Garantia do Sigilo: As pesquisadoras garantem a privacidade e a confidencialidade do seus dados.

9. Formas de Ressarcimento das Despesas e/ou Indenização Decorrentes da Participação na Pesquisa: Você não receberá nenhum pagamento ou recompensa por participar desta pesquisa, mas se ocorrer uma situação em que haja necessidade de cobrir despesas decorrentes da pesquisa ou danos causados pela pesquisa, os gastos serão de responsabilidade das pesquisadoras.

Rubrica Pesquisadora

Rubrica Participante

10. A qualquer momento da pesquisa você poderá entrar em contato pelos meios disponibilizados neste termo, como telefone ou e-mail, tanto das pesquisadoras como do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

11. CEP é um órgão institucional constituído por profissionais de várias áreas, que deve existir nas instituições que realizam pesquisas envolvendo seres humanos no Brasil, criado para defender os interesses dos participantes das pesquisas de acordo com sua integridade e dignidade, este órgão tem como objetivo contribuir no desenvolvimento das pesquisas dentro dos padrões éticos (Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa envolvendo Seres Humanos –Res. CNS nº 466/12). O Comitê de Ética é responsável pela avaliação e acompanhamento dos protocolos de pesquisa sobre normas éticas.

Comitê de Ética da UFPA-Endereço: Avenida Generalíssimo Deodoro, 92. Umarizal – Belém/PA. E-mail: cepnmt@ufpa.br. Telefone: (91) 3201-0961.

12. Informações das pesquisadoras:

Juliana Setúbal Dias (pesquisadora responsável). Endereço profissional: Avenida Perimetral, s/n. Campus UFPA Belém, Laboratório de Compostos Bioativos da Amazônia – Prédio de Engenharia de Alimentos. E-mail: juju23set@gmail.com. Telefone: (91) 98255-2855

13. Este termo está impresso em 2 vias, sendo que uma fica com você e outra com o pesquisador, ambas devem ser rubricadas em todas as suas páginas e assinadas, ao seu término, por você e pelo pesquisador, devendo as assinaturas estarem na mesma folha.

Declaro que obtive de forma ética a assinatura do participante da pesquisa e que segui rigorosamente tudo o que a resolução do CNS nº 466/12 e 510/16 determinam.

Assinatura da pesquisadora

14. Consentimento Pós-Informação:

Eu, _____, após leitura e compreensão deste termo de informação e consentimento, entendo que minha participação é voluntária e que posso sair a qualquer momento do estudo, sem prejuízo algum para mim. Confirmando que recebi uma via deste termo de consentimento, e autorizo a realização do trabalho de pesquisa e a divulgação dos dados obtidos somente em meio científico.

Belém, _____ de _____ de _____

Assinatura do (a) participante da pesquisa

Rubrica Pesquisadora

Rubrica Participante

--	--