

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

TESE

**FARINHA DE GRÃO-DE-BICO (*CICER ARIETINUM* L.) E DE
FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA*) FERMENTADOS POR
LACTICASEIBACILLUS CASEI OU E POR CO-CULTURA:
PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, TECNO-FUNCIONALIDADES E
POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM MASSAS ALIMENTÍCIAS
FRESCAS**

AMANDA FULGONI DA CUNHA ESTANECH

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**FARINHA DE GRÃO-DE-BICO (*CICER ARIETINUM* L.) E DE
FEIJÃO-CAUPI (*VIGNA UNGUICULATA*) FERMENTADOS POR
LACTICASEIBACILLUS CASEI OU E POR CO-CULTURA:
PROPRIEDADES NUTRICIONAIS, TECNO-FUNCIONALIDADES E
POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM MASSAS ALIMENTÍCIAS
FRESCAS**

AMANDA FULGONI DA CUNHA ESTANECH

Sob a orientação da professora
Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

TESE SUBMETIDA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE
**DOUTORA EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**,
NO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS, ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DE
ALIMENTOS.

Seropédica, RJ
Janeiro de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

E79f

Estanech, Amanda Fulgoni da Cunha , 1985-
Farinha de grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) e de
feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) fermentados por
Lacticaseibacillus casei e por co-cultura:
propriedades nutricionais, tecno-funcionalidades e
potencial de aplicação em massas alimentícias frescas /
Amanda Fulgoni da Cunha Estanech. - Seropédica, 2024.
124 f.: il.

Orientador: Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa.
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, PPGCTA, 2024.

1. Pulses. 2. Grão-de-bico e feijão-caupi. 3.
Fermentação em leguminosas. 4. Bioprocessamento. 5.
Bactérias ácido-láticas. I. Barbosa, Maria Ivone
Martins Jacintho, 1977-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. PPGCTA III. Título.

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



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



TERMO Nº 261/2024 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.019132/2024-13

Seropédica-RJ, 12 de abril de 2024.

AMANDA FULGONI DA CUNHA ESTANECH

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

TESE APROVADA EM 31/01/2024

MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA, (Dra) UFRRJ (orientador)
ELGA BATISTA DA SILVA, (Dra) UFRRJ
LÍBIA DINIZ SANTOS, (Dra) UFU
ELIANE PEREIRA CIPOLATTI, (Dra) UFRRJ ANDRE
FIORAVANTE GUERRA. (Dr) CEFET/RJ

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 12/04/2024 18:07)
ELGA BATISTA DA SILVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptHOT (12.28.01.00.00.00.10)
Matricula: ####567#5

(Assinado digitalmente em 14/04/2024 18:18)
ELIANE PEREIRA CIPOLATTI
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DEQ (12.28.01.00.00.00.45)
Matricula: ####258#2

(Assinado digitalmente em 12/04/2024 16:46)
MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DTA (12.28.01.00.00.00.46)
Matricula: ####243#8

(Assinado digitalmente em 12/04/2024 17:29)
ANDRÉ FIORAVANTE GUERRA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.236-##

(Assinado digitalmente em 12/04/2024 15:37)
LIBIA DINIZ SANTOS
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ####.###.866-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 261 ano: 2024, tipo: TERMO, data de emissão: 12/04/2024 e código de verificação: 388706a7d7

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, meu agradecimento a Deus por me capacitar e me sustentar até a finalização do presente estudo.

Ao meu querido e amado esposo Gilberto e aos meus amados filhos, pelo apoio, incentivo e ajuda de todas as formas possíveis. Não seria possível a conclusão deste trabalho sem a companhia, consolo e parceria de vocês. Muito obrigada por toda paciência, amor e carinho durante esse difícil e desafiador período que foi o doutorado.

A minha mãe e irmã pelo incentivo, apoio e palavras de ânimo durante esse período.

A todos os técnicos do PPGCTA/UFRRJ e discentes pela parceria e conhecimentos compartilhados durante a realização das análises. Em especial a técnica Ivanilda que além de contribuir com seus conhecimentos, demonstrou sempre muita paciência e apoio durante o período de doutorado.

A coordenação e docentes do PPGCTA/UFRRJ pelos ensinamentos e apoio prestado durante a realização do estudo.

A minha orientadora Dra. Prof. Maria Ivone por tantos ensinamentos valiosos e preciosos durante esse período. Obrigada professora Maria Ivone pelo seu apoio, carinho, parceria, palavras e ações de incentivo. Foram dias de muito aprendizado dentro e fora da sala de aula. Sua orientação e ensinamentos fizeram toda diferença na minha formação e trajetória.

RESUMO GERAL

As leguminosas são amplamente usadas para alimentação humana. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da fermentação com *Lacticaseibacillus casei* e com co-cultura nas propriedades tecno-funcionais, capacidade antioxidant e físico químicas de farinhas de grão-de-bico (GB) e feijão-caupi (FC) e avaliar a sua aplicação em massas alimentícias frescas. O GB e FC foram fermentados a 28 °C por 96 h com *Lacticaseibacillus casei* e com co-cultura, resultando nas amostras GB_{LC}, GB_{CC}, FC_{LC} e FC_{CC}. Nas propriedades tecno-funcionais as farinhas GB_{LC} e GB_{CC} apresentaram no índice de solubilidade em água (ISA) redução significativa em todas as temperaturas estudadas. A fermentação contribuiu para o aumento do teor de fenólicos totais (TFT) de ambas farinhas fermentadas. As farinhas GB_{CC} e GB_{LC}, reduziram a umidade, aumentaram o teor de proteína, cinzas e fibras, e redução no teor de lipídios para farinha produzida com GB_{LC}. Para o perfil de minerais, GB_{CC} e GB_{LC}, apresentaram uma redução significativa nos teores de ferro, manganês e magnésio e para os minerais cálcio e cromo pode-se observar um aumento significativo em ambas as amostras, em comparação a GB_C. Na avaliação do PI não houve diferença significativa ($p > 0.05$) e no ISA houve um aumento para FC_{LC} a 70°C e uma redução para FC_{CC} a 50, 60 e 90 °C. FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram aumento no teor de fenólicos totais em ambas as farinhas. Na avaliação físico-químicas FC_{CC}, reduziu a umidade em 66 % e aumentou o teor de proteína em torno de 10%. Ambas amostras, FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram aumento no teor de lipídios e redução em cinzas ($p < 0.05$). Nos teores de ferro, manganês e cálcio, FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram uma redução significativa. A farinha FC_{CC} apresentou menor Aw ($p < 0.05$), o mesmo não foi observado para FC_{LC} que apresentou um aumento significativo em comparação a FC_C e FC_{CC}. A última etapa do trabalho estudou as características tecnológicas de massa alimentícia fresca. A massa fresca foi elaborada a partir da adição de farinhas de leguminosas (feijão-caupi e grão-de-bico) em substituição parcial (0 a 40%) da farinha de trigo com aplicação da tecnologia da fermentação, a partir do uso da co-cultura. Observou-se uma tendência gradual de redução do tempo de cozimento, à medida que o nível de substituição da farinha de trigo aumentava. Para perda de sólidos solúveis todas os ensaios apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) em comparação ao controle e para o aumento de volume e rendimento as massas frescas no geral apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) em comparação a amostra controle (100% farinha de trigo). Conclui-se do presente estudo que as técnicas de fermentação estudadas demonstraram promover melhorias nas propriedades físico-químicas e na capacidade antioxidant de farinhas de grão-de-bico e feijão-caupi. Além disso, a aplicação das farinhas na elaboração de massas alimentícias frescas evidenciou que a qualidade de cozimento pode ser influenciada pelas modificações na composição do produto, mas que é possível a substituição da farinha de trigo e a fim de se obter melhores benefícios nutricionais.

Palavras-chave: *Pulses*, bioprocessamento, fermentação

ABSTRACT

Legumes are widely used for human consumption. The objective of the present work was to evaluate the effect of fermentation with *Lacticaseibacillus casei* and co-culture on the techno-functional properties, antioxidant capacity and physical chemistry of chickpea (GB) and cowpea (CF) flours and evaluate its application in fresh pasta. The GB and FC were fermented at 28 °C for 96 h with *Lacticaseibacillus casei* and co-culture, resulting in the samples GBLC, GBCC, FCLC and FCCC. In terms of techno-functional properties, GBLC and GBCC flours showed a significant reduction in the water solubility index (ISA) at all temperatures studied. Fermentation contributed to the increase in the total phenolic content (TFT) of both fermented flours. GBCC and GBLC flours reduced moisture, increased protein, ash and fiber content, and reduced lipid content for flour produced with GBLC. For the mineral profile, GBCC and GBLC, they showed a significant reduction in the contents of iron, manganese and magnesium and for the minerals calcium and chromium a significant increase can be observed in both samples, compared to GBC. In the evaluation of PI there was no significant difference ($p > 0.05$) and in ISA there was an increase for FCLC at 70°C and a reduction for FCCC at 50, 60 and 90 °C. FCCC and FCLC showed an increase in total phenolic content in both flours. In the FCCC physical-chemical evaluation, it reduced humidity by 66% and increased protein content by around 10%. Both samples, FCCC and FCLC, showed an increase in lipid content and a reduction in ash ($p < 0.05$). In the iron, manganese and calcium contents, FCCC and FCLC showed a significant reduction. FCCC flour showed lower Aw ($p < 0.05$), the same was not observed for FCLC which showed a significant increase compared to FCC and FCCC. The last stage of the work studied the technological characteristics of fresh pasta. The fresh dough was made from the addition of legume flour (cowpea and chickpea) in partial replacement (0 to 40%) of wheat flour with the application of fermentation technology, using co-culture. A gradual trend of reducing cooking time was observed as the level of wheat flour replacement increased. For loss of soluble solids, all tests showed a significant increase ($p < 0.05$) compared to the control and for the increase in volume and yield, fresh pasta in general showed a significant reduction ($p < 0.05$) compared to the sample. control (100% wheat flour). It is concluded from the present study that the fermentation techniques studied demonstrated improvements in the physicochemical properties and antioxidant capacity of chickpea and cowpea flours. Furthermore, the application of flours in the preparation of fresh pasta showed that the cooking quality can be influenced by changes in the composition of the product, but that it is possible to replace wheat flour in order to obtain better nutritional benefits.

Keywords: *Pulses, processing, fermentation*

LISTA DE SÍMBOLOS

- GB** - Grão-de-bico
- GB_C** - Farinha de grão-de-bico sem fermentação (controle)
- GB_{LC}** - Farinha de grão-de-bico fermentado com *lacticaseibacillus casei*
- GB_{CC}** - Farinha de grão-de-bico fermentado com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*)
- FC** - Feijão-caupi
- FC_C** - Farinha de feijão-caupi sem fermentação (controle)
- FC_{LC}** - Farinha de feijão-caupi fermentado com *lacticaseibacillus casei*
- FC_{CC}** - Farinha de feijão-caupi fermentado com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*)
- BAL** - Bactérias ácido-láticas
- CE** - Capacidade emulsificante
- EE** - Estabilidade de emulsificação
- IAO** - Índice de absorção em óleo
- ISA** - Índice de solubilidade em água
- PI** - Poder de inchamento
- DPPH** - Ensaio de sequestro de radicais
- FRAP** - Poder antioxidante de redução férrica
- TFT** - Teor de fenólicos totais
- Aw** - Atividade de água
- a*** - Coordenada cromática vermelho/ verde
- b*** - Coordenada cromática amarelo/ azul
- L** - Luminosidade
- ΔE** - Diferença total de cor
- C*** - Chroma
- YI** - Índice de amarelecimento
- VET** - Valor energético total
- CNA** - Carboidratos não-amiláceos

VDR – Valor diário de referência

FT – Farinha de trigo

FGB – Farinha de grão-de-bico fermentado por co-cultura

FFC – Farinha de feijão-caupi fermentado por co-cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO I	5
Revisão Bibliográfica	5
1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Massa alimentícia	9
1.2 Massas fortificadas	10
Tabela 1. Composição química de leguminosas	10
1.3 Uso da fermentação na melhoria das propriedades das leguminosas	11
2. CONCLUSÃO	15
3. REFERÊNCIAS	16
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1 Material	37
2.2 Preparo das farinhas de grão-de-bico fermentadas com <i>Lactobacillus casei</i> ou com co-cultura	37
2.3 Determinação da atividade de água e análise instrumental de cor das farinhas de grão-de-bico	39
2.4 Propriedades tecno-funcionais das farinhas de grão-de-bico	39
2.5 Capacidade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos totais das farinhas estudadas	41
2.6 Analise estatística	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4. CONCLUSÃO	47
5. AGRADECIMENTOS	47
6. CONFLITO DE INTERESSE	48
7. REFERÊNCIAS	48
CAPÍTULO III	53
RESUMO	54
1. INTRODUÇÃO	56

2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1 Material	57
2.2 Preparo das farinhas de grão-de-bico fermentadas com <i>Lacticaseibacillus casei</i> ou por co-cultura	57
2.3 Caracterização físico-química e nutricional	59
2.4 Perfil de minerais	60
2.5 pH e acidez titulável	60
2.6 Análise instrumental de cor	60
2.7 Distribuição do tamanho das partículas	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4. CONCLUSÃO	72
5. AGRADECIMENTOS	73
6. CONFLITO DE INTERESSE	73
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
CAPÍTULO IV	79
1. INTRODUÇÃO	82
2. MATERIAL E MÉTODOS	83
2.1 Material	83
2.2 Preparo das farinhas de feijão-caupi fermentadas com <i>Lactobacillus casei</i> ou com co-cultura	83
2.3 Análise instrumental de cor e atividade de água das farinhas de feijão-caupi	84
2.4 Propriedades tecno-funcionais das farinhas de feijão-caupi	85
2.5 Capacidade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos totais das farinhas estudadas	86
2.6 Caracterização físico-química	86
2.7 Perfil de minerais	87
2.8 pH, acidez titulável e atividade de água (Aw)	87
2.9 Distribuição do tamanho das partículas	87
2.10 Análise estatística	87
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4. CONCLUSÃO	95
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

CAPÍTULO V	99
INTRODUÇÃO	102
MATERIAL E MÉTODOS	103
Material	103
Fermentação do grão-de-bico e do feijão-caupi com co-cultura	104
Produção das farinhas de grão-de-bico e feijão-caupi	104
Elaboração das Massas Frescas adicionadas de farinhas grão-de-bico e farinha de feijão-caupi	104
Delineamento Experimental	105
Avaliação das variáveis Respostas	106
Tempo de cozimento	106
Aumento de volume	107
Perda de sólidos solúveis	107
Rendimento	107
Análise estatística	107
RESULTADOS	108
Análises da qualidade do cozimento das massas alimentícias	108
Tempo de cozimento	109
Perda de sólidos solúveis	110
Aumento de volume	112
Rendimento	113
CONCLUSÃO	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
CONCLUSÃO GERAL	119
APÊNDICE I	120
APÊNDICE II	121

ESTRUTURA DA TESE

A tese está estruturada em 5 capítulos, sendo um de Revisão bibliográfica e os demais de resultados experimentais, conforme descrito a seguir:

O Capítulo I: Apresenta os *Desafios e estratégias da aplicação de farinhas fermentadas na fortificação de massas alimentícias: Uma revisão*, um artigo de revisão de literatura sobre os desafios e estratégias da aplicação de farinhas fermentadas e fortificação de massas alimentícias. O artigo foi publicado na Revista *Observatorio de La Economia Latinoamericana*.

No Capítulo II: *Tecno-funcionalidades e capacidade antioxidante de farinha de grão-de-bico fermentada por Lacticaseibacillus casei ou por co-cultura (Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium e Streptococcus thermophilus)* são apresentados os resultados do processamento e fermentação do grão-de-bico, produção das farinhas e a avaliação das alterações na tecno-funcionalidades (índice de absorção em óleo, capacidade de emulsão, estabilidade da emulsão, índice de solubilidade em água e poder de inchamento), capacidade antioxidante (FRAP, DPPH e teor de fenólicos total), atividade de água e análise instrumental de cor de farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura.

No Capítulo III: Propriedades físico-químicas e nutricionais de farinha de grão de bico fermentada por *Lacticaseibacillus casei* ou por co-cultura (*Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium e Streptococcus thermophilus*) são apresentados a avaliação das alterações nas propriedades nutricionais (umidade, proteína, lipídeo, carboidrato total, cinzas e fibras), perfil de minerais, no pH, na acidez e na distribuição de partículas de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura.

No Capítulo IV: São apresentadas as Tecno-funcionalidades, capacidade antioxidante, propriedades físico-químicas e nutricionais de farinha de feijão-caupi fermentada por *Lacticaseibacillus casei* ou por co-cultura (*Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium e*

Streptococcus thermophilus) são apresentados o processamento e fermentação do feijão-caupi, produção das farinhas e a avaliação das alterações na tecno-funcionalidades, (índice de absorção em óleo, capacidade de emulsão, estabilidade da emulsão, índice de solubilidade em água e poder de inchamento), capacidade antioxidante (FRAP, DPPH e teor de fenólicos total), atividade de água, análise instrumental de cor de farinha propriedades físico-químicas (umidade, proteína, lipídeo, carboidrato total e cinzas), perfil de minerais, pH, acidez e distribuição de partículas de farinha de feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura.

No Capítulo V: Correspondeu ao artigo publicado na Revista *Observatorio de La Economia Latinoamericana* intitulado “Otimização da formulação de massas alimentícias elaboradas com farinhas de grão-de-bico e de feijão-caupi fermentados utilizando planejamento de mistura” no qual foi aplicada a farinha de grão-de-bico e feijão-caupi fermentadas com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) na elaboração de massas alimentícias frescas. As massas foram desenvolvidas por meio de delineamento experimental de mistura e as variáveis respostas foram tempo de cozimento, perda de sólidos solúveis, aumento de volume e rendimento.

No Apêndice I: São apresentados os produtos tecnológicos que foram executados na forma de participação em cursos, capacitações e semanas de extensão.

No Apêndice II: São apresentadas imagens (fotos) das farinhas e algumas etapas do processo do presente estudo.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente, os consumidores estão buscando alimentos diferenciados e nutritivos, as farinhas de leguminosas estão cada vez mais populares na substituição de produtos de origem animal, devido ao recente interesse na produção sustentável de alimentos e aos benefícios proporcionados à saúde (KLONGKLAEW, et al., 2022).

As leguminosas são sementes comestíveis da família Fabaceae (*Leguminosae*), consumidas no mundo e usadas para alimentação humana. Entre os exemplos notáveis podemos destacar as *pulses*, que são leguminosas secas. No Brasil, seus representantes mais conhecidos são o feijão, a ervilha, a lentilha e o grão-de-bico. Assim, *pulses* são os grãos secos comestíveis dessas leguminosas (AISA et al., 2019).

As *pulses* representam produtos ricos em proteínas e ricos em nutrientes que podem prevenir várias doenças crônicas além de fornecer vários benefícios essenciais ao ecossistema. *Pulses* têm sido considerados por experts mundiais como os alimentos mais nutritivos que existem, chamados até mesmo de superalimentos. Eles trazem muitos benefícios à saúde, como controle do peso, da glicemia, saúde do coração e redução dos riscos de alguns tipos de câncer. Aumentar o consumo de leguminosas é uma excelente forma de obter uma alimentação mais saudável (AMJAD et al., 2013; BRASIL, 2018).

O Guia Alimentar para a População Brasileira, cita que “A alternância entre diferentes tipos de feijão e de outras leguminosas amplifica o aporte de nutriente e, mais importante, traz novos sabores e diversidade para a alimentação.” Ou seja, fica claro a recomendação para o consumo de diversos tipos de feijões e outras leguminosas de seu grupo, os *pulses* (BRASIL, 2014; BRASIL, 2018).

Dentre os *pulses*, o grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) e o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) são fontes proteicas de baixo custo que podem ser consumidas na forma de grão integral cozido, farinha ou como ingrediente de produtos de panificação ou de massas alimentícias, que apresenta elevada qualidade nutricional (FAO, 2019). São importantes aliados e componentes da dieta de países em desenvolvimento da África, América do Sul e Ásia, onde são especialmente valiosos como fontes de proteína para complementar cereais, raízes e tubérculos (WOOD & GRUSAK, 2007; MERGA & HAJI, 2019).

No entanto, como a maioria das leguminosas, o grão-de-bico e o feijão-caupi apresentam limitações de consumo. Como fonte alimentar, estas leguminosas não têm sido exploradas em

todo o seu potencial, devido à presença de fatores antinutricionais, como ácido fítico, inibidores de tripsina e oligossacarídeos (rafinose e estaquiose) (AISA, et al., 2019).

Nesse sentido, a fermentação utilizando bactérias láticas é uma estratégia eficaz no bioprocessamento dessas leguminosas, potencializando suas qualidades funcionais, nutricionais e tecnológicas, além de contribuir para redução de fatores antinutricionais. A produção de farinhas de leguminosas fermentadas tem demonstrado ser uma excelente estratégia para enriquecimento nutricional e desenvolvimento de novos produtos, como para aplicação no desenvolvimento de massas alimentícias (SARKAR, et al., 2020).

Grande parte da população mundial consome massas alimentícias, devido ao seu baixo custo, sua versatilidade e sua praticidade de preparo. No Brasil, o trigo comum é a matéria-prima mais comumente empregada para a produção de massas alimentícias. Por ser o principal ingrediente em sua composição a farinha de trigo, as massas alimentícias apresentam alto teor de carboidratos, baixo teor de proteínas, fibras, vitaminas e minerais (GALVANI, 1966; ATWELL, 2001)

Portanto, a possibilidade de desenvolvimento de massas alimentícias a partir de ingredientes que forneçam maior valor nutricional, têm despertado o interesse de pesquisadores e tem sido uma tendência em todo o mundo. A fortificação de massa alimentícia tem se mostrado uma excelente estratégia para agregar valor nutricional e contribuir de forma benéfica com a saúde da população mundial (LORRUSO, et al., 2016).

Entretanto, há muito para ser desenvolvido e estudado sobre a potencialidade das farinhas de leguminosas fermentadas para agregação nutricional e fortificação de produtos, como das massas alimentícias, o que representa um desafio e uma oportunidade para os pesquisadores.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo desenvolver e estudar as alterações na tecno-funcionalidades, capacidade antioxidante e propriedades físico-química de farinha de grão-de-bico e feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) e elaborar massas alimentícias frescas a partir da adição de farinhas de leguminosas fermentadas em substituição parcial da farinha de trigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISA, H. A.; GAO, Y.; YILI, A.; MA, Q.; CHENG, Z. Beneficial Role of Chickpea (*Cicer arietinum L.*) Functional Factors in the Intervention of Metabolic Syndrome and Diabetes Mellitus. 2º Ed. Preedy: Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes (Second Edition), Academic Press, 2019, p. 615-627.
- AMJAD, I., KHALIL, I. A., SHAH, H. Nutritional yield and amino acid profile of rice protein as influenced by nitrogen fertilizer, Sarhad. Journal of Agriculture, v. 19, p. 127-134, 2003.
- ATWELL, W. A. Wheat Flour. Eagen Press Handbook Series. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Plano Nacional de Desenvolvimento da Cadeia do Feijão e Pulses, que são a lentilha, grão-de-bico e ervilha.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Guia alimentar para a população brasileira. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
- GALVANI, A. Avaliação das características físico-químicas, reológicas e de qualidade de espaguete produzido com farinhas obtidas a partir de nove genótipos de trigo provenientes de cruzamentos entre *T. aestivum L.* e *T. durum L.* Campinas, 1996. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.
- KLONGKLAEW, A. et al. Lactic acid bacteria based fermentation strategy to improve phenolic bioactive-linked functional qualities of select chickpea (*Cicer arietinum L.*) varieties, Journal NFS, v.27, n.3, p. 36-46, 2022.
- MERGA, B.; HAJI, J. Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, v. 5, n. 1, p. 615-618, 2019.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver e estudar as alterações nas propriedades nutricionais, bioativas e tecnofuncionais de farinha de grão-de-bico e feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) e elaborar massas alimentícias frescas a partir da adição de farinhas de leguminosas fermentadas em substituição parcial da farinha de trigo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as alterações na tecno-funcionalidades e capacidade antioxidante de farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseiobacillus casei* ou com co-cultura.
- Estudar as alterações nas propriedades físico-químicas e nutricionais e farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura.
- Analisar as alterações nas propriedades tecno-funcionais, antioxidantes, físico-químicas e nutricionais e farinha de feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura.
- Avaliar o efeito da substituição parcial da farinha de trigo por farinhas de leguminosas (feijão-caupi e grão-de-bico) fermentadas a partir do uso de co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*), nas características da qualidade tecnológicas de massas alimentícias frescas;
- Participar e executar ações de extensão vinculadas ao tema da tese, promovendo capacitações e treinamentos para discentes da UFRRJ com a aplicação dos conhecimentos adquiridos no presente estudo.

CAPÍTULO I

Revisão Bibliográfica

Desafios e estratégias da aplicação de farinhas fermentadas na fortificação de massas alimentícias: Uma revisão

Amanda Fulgoni da Cunha Estanech

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Paulo Cezar da Cunha Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Aline Soares Cascaes Teles

Doutora em Ciência de Alimentos
Embrapa Agroindústria de Alimentos

Endereço: Av. das Américas, 29501 - Guaratiba, Rio de Janeiro - RJ, 23020-470
E-mail: aline_cascaes@yahoo.com.br

José Lucena Barbosa Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Artigo publicado na Revista *Observatório de La Economia Latinoamericana*

(Qualis Capes A4)

Desafios e estratégias da aplicação de farinhas fermentadas na fortificação de massas alimentícias: Uma revisão

Challenges of fortification and fermentation in pasta production: A review

Amanda Fulgoni da Cunha Estanech

Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

E-mail: amandafulgoni@gmail.com

Paulo Cezar da Cunha Júnior

Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituição: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

E-mail: pc.cunha.alim@gmail.com

Aline Soares Cascaes Teles

Doutora em Ciência de Alimentos

Instituição: Embrapa Agroindústria de Alimentos

Endereço: Av. das Américas, 29501 - Guaratiba, Rio de Janeiro - RJ, 23020-470

E-mail: aline_cascaes@yahoo.com.br

José Lucena Barbosa Júnior

Doutor em Engenharia de Alimentos

Instituição: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

E-mail: lucena@ufrj.br

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Doutora em Ciência de Alimentos

Instituição: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

E-mail: mivone@gmail.com

Resumo

Massa alimentícia é um alimento à base de cereais com papel essencial na nutrição humana. São produzidas tradicionalmente com farinha de sêmola de trigo duro e, por ser um produto à base de trigo, contém carboidratos e proteínas, mas é deficiente em aminoácidos essenciais. Para melhorar as propriedades nutricionais é possível incorporar novos ingredientes com características diferenciadas. Entretanto, a adição de ingredientes pode afetar as propriedades tecnológicas e nutricionais, configurando um grande desafio para a formulação de massas com adição de matérias-primas não convencionais. Neste contexto, a tecnologia de fermentação constitui um processo com grande potencial para mitigar esses problemas e contribuir com novas percepções na tendência ao consumo de produtos à base de vegetais (*plant-based*). O desenvolvimento de alimentos com a adição de proteínas alternativas é uma maneira eficaz de contribuir com as necessidades nutricionais individuais do consumidor. Nesta revisão, abordamos o estudo das massas alimentícias e massas fortificadas, analisando diferentes estudos e a aplicação de matérias-primas alternativas como ferramentas para potencializar a qualidade nutricional no desenvolvimento das massas, além do uso da fermentação (com a utilização de bactérias ácido-láticas) e suas implicações nas modificações das características tecnológicas, sensoriais e nutricionais.

Palavras-chave: Massa alimentícia, fortificação, bioprocessos, bactérias ácido-lática

ABSTRACT

Pasta is a cereal-based food with an essential role in human nutrition. They are traditionally produced with durum wheat semolina flour and, as it is a wheat-based product, it contains carbohydrates and proteins, but it is deficient in essential amino acids. To improve nutritional properties, it is possible to incorporate new ingredients with different characteristics. However, the addition of ingredients may affect the technological and nutritional properties constituting a great challenge for the formulation of pasta with the addition of unconventional raw materials. In this context, fermentation technology is a simple process with great potential to mitigate these problems and contribute to new insights into the trend towards consumption of plant-based products. Developing foods with the addition of alternative proteins is an effective way to contribute to a consumer's individual nutritional needs. In this review, we approach the study of pasta and fortified pasta, analyzing different studies and the application of alternative raw materials as tools to enhance nutritional quality in pasta development, in addition to the use of fermentation (using lactic acid bacteria) and its implications for changes in technological, sensory and nutritional characteristics.

Key words: Pasta, fortification, bioprocesses, lactic acid bacteria

1. INTRODUÇÃO

A massa é um dos alimentos de cereais mais importantes e consumidos no mundo, devido à sua facilidade de cozimento e preparo, baixo custo e palatabilidade. As massas são frequentemente associadas à culinária italiana e produzidas tradicionalmente com farinha de sêmola de trigo durum. Por ser um produto à base de trigo, contém carboidratos e proteínas, mas é deficiente em aminoácidos (CHILLO, et al., 2008; DESAI, et al., 2018; BAO XING, et al., 2023).

Nas últimas duas décadas, pode-se evidenciar um empenho das pesquisas para melhorar o teor nutricional de massas alimentícias, através da inclusão de ingredientes não tradicionais, a fim de atender a demanda do mercado consumidor que está, constantemente, à procura de alimentos diferenciados e mais saudáveis (SISSONS, 2022).

Nesse sentido, a adição de diferentes ingredientes como vegetais, farinhas integrais, farelos, farinha de oleaginosas e de leguminosas no desenvolvimento de massas, tem demonstrado ser uma maneira eficaz de potencializar a composição nutricional de massas alimentícias. Ingredientes como cevada, cereais pigmentados (MONTALBANO, et al., 2016; ABDEL-AAL, et al., 2006), farinhas de pseudocereais (SCHETTINO, et al., 2020), orégano e farinha de folha de cenoura (BOROSKI, et al., 2011) também demonstraram ser excelentes opções para fortificação e enriquecimento de massas (DE PASQUALE, et al., 2021).

Entre os vegetais podemos destacar o uso das leguminosas, devido ao seu perfil nutricional (DE PASQUALE, et al., 2021). Entretanto, a adição de leguminosas, bem como a mudança na formulação, pode afetar a qualidade tecnológica, sensorial e principalmente o valor nutricional das massas, devido a presença dos compostos antinutricionais (MARTÍN-CABREJAS, 2004; PETITOT & MICARD, 2010; RIZZELLO et al., 2017).

Dentre as possíveis alternativas para mitigar os problemas da adição de leguminosas às massas alimentícias, o processo de fermentação parece ser uma das mais promissoras para melhorar algumas propriedades desses ingredientes e, consequentemente, a qualidade nutricional da massa, podendo promover o uso de diferentes matérias-primas. O processo de fermentação utilizando bactérias ácido-láticas (BAL) demonstrou melhora nas propriedades nutricionais, como maior digestibilidade proteica, melhores índices nutricionais de proteínas, menor índice glicêmico, melhor capacidade antioxidante e redução de compostos antinutricionais, além propiciar a obtenção de diferenciadas características reológicas nas massas (LORUSSO, et al., 2017; RIZZELLO, et al., 2017; ZHAI, et al., 2019).

De acordo com Lorruso, et al. (2016) a fortificação de massa alimentícia é uma excelente estratégia para agregar valor nutricional. A utilização de farinha fermentada de quinoa

na elaboração de massas foi capaz de obter melhores índices nutricionais de proteínas e menor índice glicêmico. Entretanto, há poucos estudos sobre a potencialidade da fortificação e da utilização da etapa de fermentação das leguminosas sobre as propriedades nutricionais.

Nesse contexto, foi realizada uma revisão da literatura sobre fortificação, enriquecimento e fermentação em massas, a fim de melhor compreender os efeitos da adição e utilização de diferentes matérias-primas e do processo de fermentação na fortificação de massas com o objetivo de propor a utilização de novos ingredientes e diferentes tecnologias.

1.1 Massa alimentícia

A massa é um alimento à base de cereais comumente consumidos e se destacam por seu alto teor de carboidrato (74 a 77%), a sua distribuição global e vida útil prolongada. De acordo com sua composição, é possível destacar o seu baixo teor de sódio e lipídeos e valor moderado de proteínas, com deficiência em lisina e treonina (aminoácido limitante), comuns à maioria dos produtos de cereais (KHAN, et al., 2013). São preparações frequentemente associadas à culinária italiana e feitas convencionalmente com sêmola, resultando em um produto granular obtido do endosperma do trigo, conhecido como durum, que apresenta uma grande proporção de glúten (CHILLO, et al., 2008; KHAN, et al., 2013).

A sêmola de trigo é considerada um componente fundamental dos alimentos, principalmente das massas. Contém proteínas de glúten, compostas principalmente por gliadinas e gluteninas (80%) que coagulam e formam uma forte rede de proteínas viscoelásticas, durante o cozimento do amido. Essa característica única das proteínas de glúten é responsável pela consistência firme e por toda a estrutura da massa (ODEY & LEE, 2019).

Tradicionalmente, as massas alimentícias são fabricadas predominantemente com farinha de trigo durum, o que, comparada com outras farinhas, confere excelentes propriedades reológicas à massa, boa aparência e qualidade de cozimento, entretanto é possível usar farinha de trigo durum e incorporar novos ingredientes com características nutricionais diferenciadas, capazes de aumentar o valor nutricional da massa (GRANATO, et al., 2010).

A massa convencional é uma fonte bastante pobre de compostos fisiologicamente ativos, assim também, como em gordura além de ser reconhecida como uma fonte moderada de proteínas e vitaminas, desta forma, a fortificação é uma ferramenta para aumentar a qualidade nutricional desse produto (BORNE; AGUIRRE, 2008; BOROSKI et al., 2011).

1.2 Massas fortificadas

Diferentes vegetais podem ser acrescidos à formulação de massas alimentícias com o intuito de agregar novas características e maior valor nutricional. Ingredientes como inulina, ervilha, goma de alfarroba, goma xantana, fibra de bambu, β -glucanos, concentrados de farelo e proteína também estão sendo utilizados como opção para a fortificação de massas e têm demonstrado resultados muito eficientes por sua contribuição no aumento da fibra alimentar, que possibilita a diminuição do valor energético dos produtos, do tempo de esvaziamento gástrico e afeta positivamente o metabolismo de açúcares e lipídios, atuando de forma benéfica na saúde do consumidor (BRENNAN; TUDORICA, 2008; PADALINO, et al., 2018).

O efeito da incorporação de novos ingredientes, como variedades de trigo não duro, psyllium e aveia também podem ser acrescidos com o objetivo de melhorar as propriedades nutricionais e funcionais (D'AMICO et al., 2015; SOBOTA et al., 2015; FICCO et al., 2016).

Nesse sentido, Mridula (2017) produziu massas com maior capacidade antioxidante, teor de proteínas e aceitabilidade sensorial, utilizando farinha de amendoim e suco de cenoura como ingredientes no desenvolvimento de massas. De acordo com Yadav et al., 2014, a adição de vegetais como espinafre, cenoura, nabo e tomate, proporciona uma melhora na qualidade de cozimento, com menor perda de sólidos solúveis nas massas.

As leguminosas representam uma considerável fonte de proteínas, carboidratos de liberação lenta e fibras alimentares (Tabela 1). Além disso, as leguminosas também são conhecidas por contribuírem com a redução do nível de colesterol plasmático e dos triglicerídeos (PETITOT & MICARD, 2010; LALEG, et al., 2016).

Tabela 1. Composição química de leguminosas

Leguminosas	Proteína (%)	Amido (%)	Fibra (%)	Gordura (%)
Feijão-caupi	24,5	51,4	19,4	2,2
Feijão fava	26,1	37,0	13,1	2,5
Soja	35,1	1,5	20,0	17,7
Ervilha	18,3	45	12,0	0,6
Grão-de-bico	28,2	44,4	9,0	3,1

Fonte: FROTA, et al., (2008); KUMAR; PANDEY (2020)

Feijões, ervilhas, soja, lentilhas e grão-de-bico são leguminosas consumidas em todo o mundo e apresentam-se como fontes de proteínas para o abastecimento do crescente mercado de alimentos *plant-based*, pois essas leguminosas apresentam maior teor de proteínas quando comparadas aos cereais (BOYE; ZARE; PLETCH, 2010; BOUCHENAK; LAMRI-SENHADJI, 2013). O teor de proteínas, que é o nutriente em destaque quando se fala em leguminosas, pode variar entre 20% e 40%. As proteínas das leguminosas são de alta qualidade, porque essa qualidade não está somente relacionada a quantidade de aminoácidos essenciais presentes em sua composição, mas também à sua digestibilidade, presença de peptídeos bioativos e sua bioacessibilidade, caracterizando as leguminosas como uma alternativa altamente nutritiva (OMOSEBI; OSUNDAHUNSI; FAGBEMI, 2018).

Embora as leguminosas apresentem bons aspectos nutricionais, como melhores teores de proteínas quando comparado aos cereais, as leguminosas são compostas principalmente de proteínas solúveis, as albuminas e as globulinas, e a adição de tais proteínas solúveis na composição da massa alimentícia (fortificada com leguminosas) pode enfraquecer a rede proteica das massas, aumentando a perda de cozimento e resistência à quebra (PETITOT et al., 2010).

Outro importante ponto a ressaltar na adição das leguminosas, como ingredientes alternativos para fortificação das massas, é a presença de algumas substâncias presentes nos grãos que servem de defesa para a planta, porém, possuem efeito antinutricional, ou seja, podem acarretar efeitos adversos ao organismo humano quando ingeridas ou diminuir a biodisponibilidade de algum nutriente. Entre essas substâncias, encontramos o fitato, proveniente do ácido fítico, que interage com minerais formando complexos insolúveis, a tripsina, que reage com enzimas digestivas inativando-as de forma irreversível e a rafinose e a estaquiose (α -D-galactosídeo), que são oligossacarídeos que não são hidrolisados no sistema digestivo humano (ausência da enzima α -galactosidase) e, consequentemente, são utilizados pelas bactérias como substrato, liberando gás e causando desconfortos abdominais (MUZQUIZ et al., 2012; MILLAR et al., 2019).

1.3 Uso da fermentação na melhoria das propriedades das leguminosas

Embora a fortificação represente um método eficiente para melhorar a qualidade nutricional das massas, a substituição da sêmola ainda é um desafio para a indústria de

alimentos uma vez que a adição de ingredientes alternativos afeta significativamente as propriedades tecnológicas e sensoriais (RIZZELLO et al., 2017).

Nesse sentido, o uso do processo de fermentação tem demonstrado ser promissor para melhorar a qualidade da massa e promover a fortificação com a utilização de leguminosas, conferindo melhores características nutricionais (CURIEL, et al., 2014).

A fermentação com bactérias ácido-láticas tem demonstrado resultados positivos na qualidade nutricional da fração proteica de leguminosas. A utilização de *Lactiplantibacillus plantarum* para o processo fermentativo aumentou o teor de aminoácidos livres totais, incluindo os aminoácidos essenciais e o ácido γ -aminobutírico, e melhorou a digestibilidade proteica *in vitro* da farinha de feijão fava. A proteólise durante a fermentação levou a uma hidrólise progressiva de proteínas e ao aumento de peptídeos e concentrações de aminoácidos livres (CODA, et al., 2015; RIZZELLO, et al., 2017). A farinha de feijão fava também apresentou teor de amido resistente mais elevado, do que a farinha de sêmola, que após a fermentação, aumentou ainda mais devido à acidificação biológica (RIZZELLO, et al., 2017).

Estudos demonstraram que a fermentação de leguminosas aumentou seu valor nutricional, com redução de compostos antinutricionais. De acordo com Phengnuam e Suntornsukp (2013) a diminuição do inibidor de tripsina em leguminosas é uma consequência do efeito da protease bacteriana durante a fermentação. Além disso, a redução de fatores antinutricionais em leguminosas é capaz de favorecer a qualidade proteica de leguminosas, por meio do aumento da digestibilidade da proteína (ALONSO et al., 2000).

A utilização da fermentação por estirpes de *L. reuteri*, *L. fermentum*, *L. plantarum* pode ser uma maneira de aumentar a qualidade nutricional de alimentos, por meio da redução de cádmio, podendo ser considerada como uma potente ferramenta para a produção de alimentos à base arroz, uma vez que a contaminação de arroz por cádmio é uma preocupação crescente nos países em desenvolvimento (ZHAI et al., 2019).

Grande parte dos estudos demonstra que a tecnologia de fermentação auxilia na produção de massas com alto potencial nutricional, além de influenciar beneficamente nas propriedades tecnológicas (Tabela 2), tornando estas massas mais atraentes (sensorialmente) ao consumidor e contribuindo com melhores hábitos alimentares (LORUSSO et al., 2017).

Tabela 2. Estudos de fortificação e enriquecimento de massas a partir de processos de fermentação.

Produto	Matéria-prima	Fermentação	Resultados	Referência
Massa enriquecida com vitamina B2 (Riboflavina).	Sêmola de trigo duro comercial e farinha de trigo comercial	Fermentação com <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> em 30°C por 72h	Aumento considerável do conteúdo de vitamina B2	CAPOZZI, et al., 2011
Massa de trigo sem glúten	Farinha de trigo isenta de glúten pela fermentação com bactérias ácido-láticas	Fermentação com <i>Lactobacillus sanfranciscensis</i> , <i>Lactobacillus alimentarius</i> e <i>Levilactobacillus brevis</i> em 30°C por 48h	Menor tempo de cozimento, maior digestibilidade protéica, melhora do perfil de aminoácidos essenciais.	CURIEL et al., 2014
Massa fortificada com farinha fermentada de feijão faba	Feijão-fava (<i>Vicia faba major</i>) de agricultores locais.	Fermentação com <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> em 30°C por 48h	Redução de vicinas e convicinas e da atividade inibidora de tripsina e taninos condensados.	CODA, et al., 2015
Massa fortificada com farinha fermentada de quinoa	Sementes descascadas de quinoa orgânica argentinas	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (T6B10) e <i>Lactobacillus rossiae</i> (T0A16). As cepas propagadas a 30°C.	Maior digestibilidade proteica, melhores índices nutricionais de proteínas e menor índice glicêmico	LORUSSO, et al., 2016

Massa fortificada com farinha fermentada de feijão faba	Farinhas italianas comerciais de feijão-faba (<i>Vicia faba major</i>)	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (DPPMAB24W). A cepa foi propagada a 30°C por 24h	Textura mais homogênea, melhora na fração proteica e redução da taxa de hidrólise do amido.	RIZZELLO, et al., 2017
Massa fortificada com farinha fermentada de mandioca	Raízes de mandiocas descascadas e congeladas	Condições naturais de fermentação por período de 0,12, 36 e 60 horas a 25°C (em água destilada).	Umidade, carboidrato, capacidade de absorção de água, inchaço, solubilidade e viscosidade aumentaram	ODEY & LEE, 2019
Massa alimenticia de arroz com farinha fermentada	Arroz comercial (<i>Oryza sativa L.</i>)	Fermentação por 10 linhagens de <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (37°C por 24h)	Remoção de cádmio Alterações nas propriedades físico-químicas	ZHAI, et al., 2019
Massa alimenticia de arroz com farinha fermentada	Farinha de arroz (<i>Oryza sativa L.</i>) comercial.	Fermentação mista de <i>Lactobacillus</i> (LAB).	Redução de cádmio, maior dureza e mastigação, menor perda de cozimento e taxa de ruptura	ZHU, et al., 2019
Massa de sêmola fortificada com farinha de grão-de-bico	Farinha de grão-de-bico preto do mediterrâneo	Fermentação com <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> T0A10 (30°C por 24h)	Aumento de 20% de compostos fenólicos, maior teor de amido resistente e redução de fatores antinutricionais	DE PASQUALE, et al., 2021

Fonte: Autoria própria (2023)

A aplicação da tecnologia da fermentação pode causar alterações significativas nas características bioquímicas das sementes, uma vez que durante o processo as proteínas podem ser degradadas por proteases (XIAO, et al., 2015). O processo resulta na formação de compostos com menor massa molecular e cadeia mais curta. Produtos fermentados de leguminosas apresentam uma importante fonte de peptídeos inibitórios da enzima conversora de angiotensina I (ECA). A formação de peptídeos bioativos, normalmente representados por sequências de 3 a 20 unidades de aminoácidos, podem exercer vários efeitos fisiológicos (BOYE; BARBANA, 2011; XIAO, et al., 2015).

Outro importante resultado observado foi a redução do índice glicêmico (IG) em massas fortificadas com farinha fermentada de quinoa, este efeito pode ser atribuído à acidificação biológica (devido a formação dos ácidos orgânicos) que é um dos principais fatores que diminui a taxa de hidrólise de amido e a alta concentração de fibras dietéticas (DE ANGELIS et al., 2009).

Além das vantagens nutricionais descritas anteriormente, a adição da farinha fermentada de quinoa, também conferiu maior intensidade de sabor em comparação com o uso de farinhas nativas (não fermentadas), melhora da elasticidade e coesão da massa, possivelmente devido à proteólise moderada durante a fermentação (LORUSSO, 2016). O aumento do nível de fortificação (farinha de feijão faba fermentada) também levou à redução no tempo de cozimento. A redução do teor de glúten foi observada como a principal causa para o comportamento tecnológico diferente (RIZZELLO, 2017).

2. CONCLUSÃO

Embora, massa alimentícia seja um dos alimentos mais importantes do mundo, existem limitações em sua composição, principalmente na qualidade nutricional, uma vez que as massas são preparadas tradicionalmente com farinha de sêmola de trigo durum. Essas limitações nutricionais podem ser corrigidas ou melhoradas com a adição de diferentes matérias-primas não tradicionais, como as leguminosas que são capazes de promover mudanças nutricionais positivas no produto final.

Nesse sentido, há um vasto número de estudos com a utilização de leguminosas em massas. Entretanto, estes estudos demonstram que as principais limitações dessas substituições em massas alimentícias estão relacionadas com a presença de fatores antinutricionais presente

nas leguminosas, e com a qualidade tecnológica como tempo de cozimento e perda de sólidos solúveis.

O uso da fermentação das farinhas pode potencializar os efeitos produzidos por adição de novos ingredientes, com o objetivo de melhorar as propriedades nutricionais.

Embora a utilização de novos ingredientes e da fermentação representem métodos eficientes para melhorar a qualidade nutricional das massas, a substituição da sêmola ainda se apresenta como um desafio para a indústria de alimentos, havendo a necessidade do contínuo estudo e pesquisa no desenvolvimento de massas fortificadas.

3. REFERÊNCIAS

ABDEL-AAL, E. S. M.; YOUNG, J. C.; RABALSKI, I. Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple, and Red Cereal Grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, New York, v. 54, p. 4696–4704, 2006.

ALONSO, R.; AGUIRRE, A.; MARZO, F. Effect of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney bean. *Food Chemistry*, Amsterdã, v.68, n.2, p. 159-165, 2000.

BOROSKI, M.; AGUIAR, A. C.; BOENING, J. S.; ROTTA, E. M.; WIBBY, C. L.; BONAFÉ, E. G.; SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Enhancement of pasta antioxidant activity with oregano and carrot leaf. *Food Chemistry*, Amsterdã, v.125, p. 696-700, 2011.

BOROSKI, M.; DE AGUIAR, A. C.; BOEING, J. S.; ROTTA, E.M.; WIBBY, C. L.; BONAFÉ, E. G.; DE SOUZA, N. E.; VISENTAINER, J. V. Enhancement of pasta antioxidant activity with oregano and carrot leaf. *Food Chemistry*, Amsterdã, v. 125, p.696-700, 2011.

BOUCHENAK, M.; LAMRI-SENHADJI, M. Nutritional Quality of Legumes, and Their Role in Cardiometabolic Risk Prevention: A Review. *Journal of Medicinal Food*, Bethesda, v.16, p. 185-198, 2013.

BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, Campinas, v.43, p. 414-431, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. 2000. RDC n°14, de fevereiro de 2000. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e

Qualidade de Massa Alimentícia ou Macarrão. Disponível em:
<https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0014_21_02_2000.htm>

BRENNAN, C. S.; TUDORICA, C. M. Evaluation of potential mechanisms by which dietary fibre additions reduce the predicted glycaemic index of fresh pastas. International Journal of Food Science and Technology, San Mateo, v. 43, p.2151–2162. 2008.

CHILLO, S.; LAVERSE, J.; FALCONE, P. M.; NOBILE, M. A. D. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. Journal of Food Engineering, Amsterdã, v.84, p.101-107. 2008.

CICCORITTI, D.; TADDEI F.; NICOLLETI, I.; GAZZA, L.; CORRADINI, D.; D'EGIDIO, M. G.; MARTINI, D. Use of bran fractions and debranned kernels for the development of pasta with high nutritional and healthy potential. Food Chemistry, Amsterdã, v.225, p.77-86, 2017.

CODA, R.; MELAMA, L.; RIZZELLO, C. G.; CURIEL, J. A.; SIBAKOV, J.; HOLOPAINEM, U.; PULKKINEN, M.; SOZER, N. Effect of air classification and fermentation by *Lactobacillus plantarum* VTT E-133328 on faba bean (*Vicia faba* L.) flour nutritional properties. International Journal of Food Microbiology, Germany, v.193, p. 34-42. 2015.

CURIEL, J. A.; CODA, R.; LIMITONE, A.; KATINA, A.; RAULIO, M.; GIULIANI, G.; RIZZELLO, C. G.; GOBBETTI, M. Manufacture and characterization of pasta made with wheat flour rendered gluten-free using fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria. Journal of Cereal Science, Winnipeg, v.59, p.79-87. 2014.

D'AMICO, S. Effect of high temperature drying on gluten-free pasta properties. LWT - Food Science and Technology, Athens, v.63, p.391–399. 2015.

DE ANGELIS, M.; DAMIANO, M.; RIZZELLO, C. G.; CASSONE, A.; DI CAGNO, R.; GOBBETTI, M. Sourdough fermentation as a tool for the manufacture of low-glycemic index white wheat bread enriched in dietary fibre. European Food Research and Technology, Germany, v. 229, p.593-601. 2009.

DESAI, A.; BRENNAN, M. A.; BRENNAN, C. S. Amino acid and fatty acid profile and digestible indispensable amino acid score of pasta fortified with salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) powder. European Food Research and Technology, Germany, v. 244, p. 1729–1739, 2018.

FICCO, D. B. M. DE SIMONE, V. DE LEONARDIS, A. M.; GIOVANNIELLO, V.; DEL NOBILE, M. A.; PADALINO, S.; LECCE, L.; BORRELLI, G. M.; DE VITA, P. Use of purple durum wheat to produce naturally functional fresh and dry pasta. *Food Chemistry*, Amsterdā, v. 205, p. 187–195. 2016.

FRAQUEZA, M. J.; PATARA, L.; LAUKOVÁ, A. In book: *Fermented Meat Products Health Aspects*. 1°ed. Zdolec Nevijo, 2016. p. 228–269.

GRANATO, D.; BRANCO, G. F.; NAZZARO, F.; CRUZ, A. G.; FARIA, J. A. F. Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts and products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Chicago, v.9, p.292-302, 2010.

KHAN, I.; YOUSIF, A.; JOHSON, S. K.; GAMLAUTH, S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*, São Paulo, v.54, p.578–586. 2013.

LALEG, K.; CASSAN, D.; BARRON, C.; PRABAHSANKAR, P.; MICARD, V. Structural, Culinary, Nutritional and Anti-Nutritional Properties of High Protein, Gluten Free, 100% Legume Pasta. *Plos One*, San Francisco, v, 11, p.1-19. 2016.

LARANJO, M.; Elias, M.; Fraqueza, M. J. The use of starter cultures in traditional meat products. *Journal of Food Quality*, Amsterdā, v, 17. 2017.

LeBLANC, J. G.; PIARD, J.C.; SESMA, F.; GIORI, G. S. *Lactobacillus fermentum* CRL 722 is able to deliver active α -galactosidase activity in the small intestine of rats. *FEMS Microbiology Letters*, Germany, v. 248, p. 177-182, 2005.

LORUSSO, A.; VERNI, M.; MONTEMURRO, M.; CODA, R.; GOBBETTI, M.; RIZZELLO, C. G. Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *Food Science and Technology*, San Mateo, v. 78, p.215-221, 2017.

MARTÍN-CABREJAS, M. A.; SANFIZ, B.; VIDAL, A.; MOLLÁ, E.; ESTEBAN, R.; LÓPEZ-ANDRÉU, F. J. The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*, Amsterdā, v. 114, n.3, p. 1063-1068, 2009.

MILLAR, K. A.; GALLAGHER, E.; BURKE, R.; McCARTHI, S.; BARRY-RYAN, C. Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, Reading, v. 82, p. 103-233, 2019.

MONTALBANO, A.; TESORIERE, L.; DIANA, P.; BARRAJA, P.; CARBONE, A.; SPANOS, V.; PARRINO, B.; ATTANZIO, A.; LIVREA, M.A.; CASCIOFERRO, S. Quality characteristics and in vitro digestibility study of barley flour enriched ditalini pasta. *Food Science and Technology*, San Mateo, v.72, p. 223–228, 2016.

MRIDULA, D.; GUPTA, R. K.; KHAIRA, H.; BADWAL, S. Groundnut Meal and Carrot Fortified Pasta: Optimization of Ingredients Level Using RSM. *Journal of food science and technology*, India, v. 87, p. 277–288, 2017., 53(4), 1834–1844.

MUDRYJ, A. N.; AUKEEMA, H. M. Nutritional and health benefits of pulses. *Appl Physiol Nutrition Metabolism*, Bethesda, v. 39, n. 11, p. 197-204, 2014.

MUZQUIZ, M.; VARELA, A.; BURBANO, C.; CUADRADO, C.; GUILLAMON, E.; PEDROSA, M. M. Bioactive compounds in legumes: Pronutritive and antinutritive actions. implications for nutrition and health. *Phytochemistry Reviews*, Kelowna, v. 11, n. 2–3, p. 227–244, 2012.

ODEY, G. N.; LEE, W. Y. Evaluation of the quality characteristics of flour and pasta from fermented cassava roots. *International Journal of Food Science and Technology*, San Mateo, v.55. P.813-822. 2019.

OMOSEBI, O. M.; OSUNDAHUNSI, O. F.; FAGBEMI, T. N.; Effect of extrusion on protein quality, antinutritional factors, and digestibility of complementary diet from quality protein maize and soybean protein concentrate. *Journal of Food Biochemistry*, v, 42, n.1, 2018.

PADALINO, L. Use of Olive Oil Industrial By-Product for Pasta Enrichment. *Journal Antioxidants*, v. 7, p.1-15, 2018.

PETITOT, M.; MICARD, V. Impact of Drying and Precooking Treatments on Pasta Structure and Inherent In Vitro Starch Digestibility. *Journal Food Biophysics*, v. 5, p. 309–320, 2010.

PHENGNUAM, T.; SUNTORNSUK, W. Detoxification and anti-nutrients reduction of Jatropha curcas seed cake by *Bacillus* fermentation. *J. Biosci. Bioeng.* v, 115, p.168–172, 2013.

RIZZELLO, C.; VERNI, M.; KOIVULA, H.; MONTEMURRO, M.; SEPPA, L.; KEMELL, M.; KATINA, K.; CODA, R.; GOBBETTI, M. Influence of fermented faba bean flour on the nutritional, technological and sensory quality of fortified pasta. *Food Function.* v. 8, p. 860-871, 2017.

SÁ, A. G. A.; MORENO, Y. M. F. CARCIOFI, B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science and Technology*, San Mateo, v. 97, p.170–184, 2020.

SCHETTINO, R.; PONTONIO, E.; GOBBETTI, M.; RIZZELLO, C. G. Extension of the Shelf-Life of Fresh Pasta Using Chickpea Flour Fermented with Selected Lactic Acid Bacteria. *Microorganisms*, v.8, p.13-22, 2020.

SECZYKA, L.; SWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U.; LUTY, M.; CZYZ, J. Effect of fortification with parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) leaves on the nutraceutical and nutritional quality of wheat pasta. *Food Chemistry*, Amsterdã, v. 190, p.419-428. 2016.

SISSONS, M. Development of Novel Pasta Products with Evidence Based Impacts on Health—A Review. *Foods, Basileia*, v.11, p. 1-28, 2022.

SOARES, G. J. D.; ANTUNES, P.; BILHALVA, A; ELIAS, M. et al. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), cultivares rico 23, carioca, pirata-1 e rosinha-G2. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 12-18, 1995.

SOBOTA, A.; RZEDZCKI, Z.; ZARZYCKI, P.; KUZAWINSKA, E. Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, v.50, p.111–119. 2015.

SPINELLI, S. PADALINO, L.; COSTA, C.; DEL NOBILE, M. A.; CONTE, A. Food by-products to fortified pasta: A new approach for optimization. *Journal of Cleaner Production*, Shanghai, v. 215, p.985-991. 2019.

VIDAL-VALVERDE, C.; FRIAS, J.; VALVERDE, S. Changes in the carbohydrate composition of legumes after soaking and cooking. *Journal of the American Dietetic Association*, v. 93, n. 5, p. 547-550, 1993.

XIAO, Y.; XING, G.; RUI, X.; LI, W.; CHEN, X.; JIANG, M.; DONG, M. Effect of solid-state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18 on physicochemical and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour. *Food Science and Technology*, San Mateo, v. 63, n. 2, p. 1317-1324, 2015.

XING, B.; ZHANG, Z.; ZHU, M.; TENG, C.; ZOU, L.; LIU, R.; ZHANG, L.; YANG, X.; REN, G.; QIN, P. The gluten structure, starch digestibility and quality properties of pasta supplemented with native or germinated quinoa flour, *Food Chemistry*, Amsterdā, v. 399, p.1-21, 2023.

YADAV, D. N.; SHARMA, M.; CHICARA, N.; ANAND, T.; BANSAL, S. Quality characteristics of vegetable-blended wheat–pearl millet composite pasta. *Agricultural Research*, Índia, v. 3, n. 3, p. 263-270, 2014.

YOUNG, N. W. G., O'SULIVAN G. R. The influence of ingredients on product stability and shelf life, in *Food and Beverage Stability and Shelf Life*, eds Kilcast D., Subramaniam P., editors. Sawston: Woodhead Publishing. 132–183, 2011.

ZHAI, Q.; GUO, Y.; TANG, X.; TIAN, F.; ZHAO, J.; ZHANG, H.; CLEN, W. Removal of cadmium from rice by *Lactobacillus plantarum* fermentation. *Journal Food Control*, Karlsruhe, v. 96, p. 357-364. 2019.

ZHU, J.; CHEN, Y.; LV, C.; WU, W.; QIN, S. Study on optimization of removing cadmium by *lactobacillus* fermentation and its effect on physicochemical and quality properties of rice noodles. *Food Control*, Karlsruhe, v. 106, n.2, p.123-143, 2019.

CAPÍTULO II

Tecno-funcionalidades e capacidade antioxidante de farinha de grão-de-bico fermentada por *Lacticaseibacillus casei* ou por co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*)

Amanda Fulgoni da Cunha Estanech

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Paulo Cezar da Cunha Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

E-mail: pc.cunha.alim@gmail.com

Elisa Helena da Rocha Ferreira

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

E-mail: lucena@ufrj.br

José Lucena Barbosa Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Artigo aceito para publicação na Revista Ciência Rural

(Qualis Capes A4)

RESUMO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.; GB) é um dos *pulses* mais consumidos no mundo. A fermentação com bactérias ácido-láticas (BAL) tem sido uma estratégia para melhorar a qualidade nutricional e tecnológica de farinhas de GB, além de reduzir os teores de fatores antinutricionais. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da fermentação com *Lactobacillus casei* ou com co-cultura na atividade de água (Aw), na cor, na capacidade antioxidante e nas propriedades tecno-funcionais de farinha de GB. O GB foi fermentado a 28 °C por 96 h com *Lactobacillus casei* ou a co-cultura, resultando nas amostras GB_{LC} e GB_{CC}, respectivamente, seco a 50 °C e moído para obtenção das farinhas. A fermentação reduziu ($p < 0.05$) a Aw e os parâmetros de cor (L*, a* e b*) das farinhas fermentadas (GB_{CC} e GB_{LC}). Nas propriedades tecno-funcionais as farinhas GB_{CC} apresentaram menor capacidade emulsificante (CE) (80%) e estabilidade da emulsão (EE) (82,50%). As farinhas GB_{LC} e GB_{CC} apresentaram diferenças significativas ($p < 0.05$) no poder de inchamento apenas a 25 °C e redução no índice de solubilidade em água (ISA) em todas as temperaturas estudadas. A fermentação com BAL afetou a capacidade antioxidante nas técnicas de DPPH e de FRAP, além de ter contribuído para o aumento do teor de fenólicos totais (TFT) das farinhas fermentadas. Conclui-se que a fermentação com *Lactobacillus casei* e co-cultura afetou a Aw, a cor, CE, EE, ISA, reduziu capacidade antioxidante determinada por DPPH, no entanto, aumentou o TFT das farinhas fermentadas.

Palavras-chave: Leguminosas, *plant based*, bactérias ácido-láticas, bioprocessamento.

ABSTRACT

Chickpea (*Cicer arietinum* L.; GB) is one of the most consumed pulses worldwide. Fermentation with lactic acid bacteria (LAB) has been a strategy to improve the nutritional and technological quality of chickpea flours, in addition to reducing the levels of antinutritional factors. The aim of this study was to evaluate the effect of fermentation with *Lactobacillus casei* or co-culture on water activity (Aw), color, antioxidant capacity, and techno-functional properties of chickpea flour. Chickpeas were fermented at 28 °C for 96 h with *Lactobacillus casei* or co-culture, resulting in the samples GB_{LC} and GB_{CC}, respectively, dried at 50 °C, and ground to obtain the flours. Fermentation reduced ($p < 0.05$) the Aw and color parameters (L^* , a^* , and b^*) of the fermented flours (GB_{CC} and GB_{LC}). In terms of techno-functional properties, GB_{CC} flours showed lower emulsifying capacity (CE) (80%) and emulsion stability (EE) (82.50%). GB_{LC} and GB_{CC} flours showed significant differences ($p < 0.05$) in swelling power only at 25 °C and a reduction in water solubility index (WSI) at all studied temperatures. LAB fermentation affected the antioxidant capacity in DPPH and FRAP techniques, contributing to the increase in total phenolic content (TPC) of the fermented flours. In conclusion, fermentation with *Lactobacillus casei* and co-culture affected Aw, color, CE, EE, WSI, reduced antioxidant capacity determined by DPPH, and increased TPC of the flours.

Keywords: Legumes, *plant based*, lactic acid bacteria, bioprocessing.

1. INTRODUÇÃO

Em 2018, o Ministério da Agricultura e Pecuária do Brasil lançou o Plano Nacional para o Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Feijão e Pulses que tem como principal objetivo o aumento do consumo e produção de feijão e de variedades diversificadas de pulses (lentilha, grão-de-bico e ervilha) para atender ao mercado interno e externo do país (BRASIL, 2018). O grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) é um dos pulses mais consumidos no mundo, na forma de grão integral cozido, farinha ou como ingrediente de produtos de panificação ou de massas alimentícias (FAO, 2019). É uma fonte proteica de baixo custo, que apresenta elevada qualidade nutricional, contendo aminoácidos, como a lisina, tirosina, ácido glutâmico e histidina, além de ser excelente fonte de carboidratos complexos, de fibras alimentares e apresentar baixo teor de lipídeos e sódio (KAUR & PRASAD, 2021; KLONGKLAEW, et al., 2022). No entanto, como a maioria das leguminosas, apresenta limitações de consumo devido à presença de fatores antinutricionais, como inibidores de tripsina e oligossacarídeos, como a rafinose, estaquiose e verbascose (AISA, et al., 2019). Nesse sentido, a fermentação utilizando bactérias lácticas é uma estratégia eficaz no bioprocessamento dessas leguminosas, potencializando suas qualidades funcionais, nutricionais e tecnológicas, além de contribuir para redução de fatores antinutricionais (SARKAR, et al., 2020). Adicionalmente, a fermentação aumenta a retenção de fenólico totais e, consequentemente, a capacidade antioxidante de farinha de grão-de-bico, além da melhoria nas propriedades tecnológicas, como as capacidades de absorção de água e de óleo e a emulsificante (SENANAYAKE, et al., 2020).

Apesar do potencial dessa técnica, muitos estudos têm focado no efeito do tipo, das condições e nos microrganismos que podem ser utilizados na fermentação na melhoria nutricional das leguminosas (KAUR & PRASAD, 2021) e informações sobre os efeitos da fermentação por *Lactobacillus casei* ou por co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*,

Bifidobacterium e *Streptococcus thermophilus*) na capacidade antioxidante e nas propriedades tecnológicas farinha de grão-de-bico são escassos. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar as alterações na tecno-funcionalidades e capacidade antioxidante de farinha de grão-de-bico fermentado com *Lactobacillus casei* ou com co-cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O grão-de-bico e a co-cultura comercial (*Lactobacillus acidophilus* LA5[®] – 6 log UFC g⁻¹; *Bifidobacterium* BB12[®] – 6 log UFC g⁻¹; *Streptococcus termophilus* – 6 log UFC g⁻¹) (BioRich, Chr. Hansen, Valinhos, São Paulo, Brasil) foram adquiridos em comércio local do município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. A cultura liofilizada de *Lactobacillus casei* (Lyofast BGP93) foi cedida pela empresa SACCO Brasil (São Paulo, Brasil).

2.2 Preparo das farinhas de grão-de-bico fermentadas com *Lactobacillus casei* ou com co-cultura

O grão-de-bico (GB) foi lavado em água corrente e submerso em água destilada durante 12 h, na proporção de 500 g de GB para 2 litros de água destilada (Figura 1). Em seguida, a água foi descartada e substituída usando uma proporção de 1:1 (GB:água), e submetido ao processo de esterilização em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após esta etapa, o GB foi resfriado até a temperatura ambiente (25 °C) durante 5 h. Após esta etapa, o GB foi separado em 2 porções de 100 g, na primeira adicionou-se *Lactobacillus casei* (GB_{LC}) na concentração de 0,2 g L⁻¹ (9 log UFC g⁻¹), enquanto que na segunda porção, foi adicionada a co-cultura comercial (GB_{CC}) na concentração de 0,4 g L⁻¹, conforme as especificações recomendadas pelo fabricante. As amostras de GB_{LC} e GB_{CC} foram submetidas a fermentação em método submerso em estufa a 28 °C por 96 h, seguindo a metodologia proposta por XIAO et al. (2015), onde o grão-de-bico esterilizado e não fermentado (GB_C) foi utilizado como

controle. Em seguida, os grãos fermentados (GB_{LC} e GB_{CC}) e não fermentados (GB_C) foram prensados em tecido estéril de poliéster para remoção do excesso de água.

Para a produção das farinhas (Figura 1), os grãos fermentados (GB_{LC} e GB_{CC}) e o controle foram submetidos à secagem em secador (Microventilador E15CD) a 50 °C por 5 h, moídos em moinho de facas por 40 segundos (IKA A11BS032, Staufen, Alemanha), peneirados por peneira com abertura de 710 µm, obtendo-se 3 farinhas: GB_{LC} (GB fermentado com *Lactobacillus casei*), GB_{CC} (GB fermentado com co-cultura) e GB_C (amostra controle – não fermentada). As farinhas obtidas foram armazenadas em frascos de vidro hermeticamente fechados e acondicionados sob refrigeração a 4 °C.

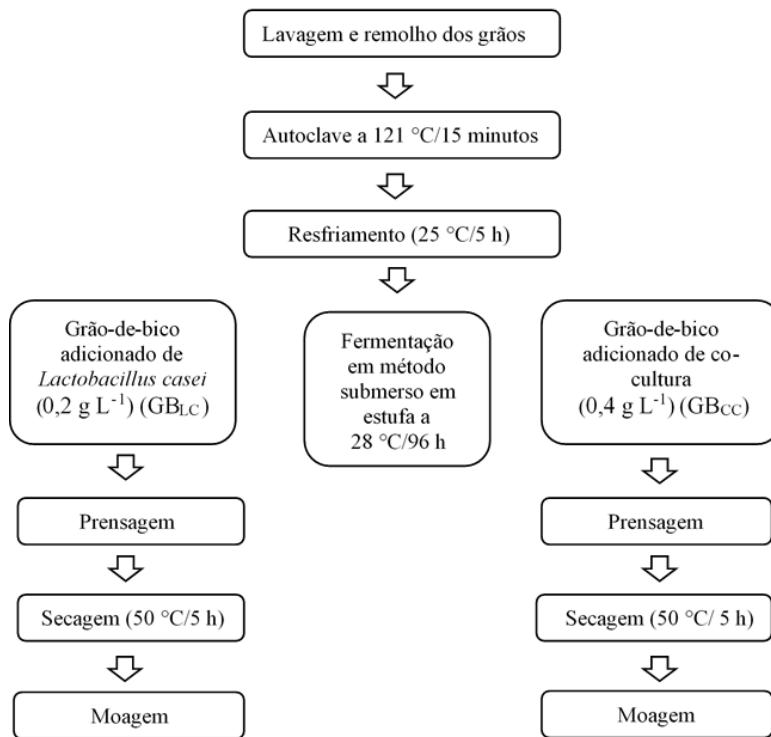


Figura 1. Fluxograma dos procedimentos para fermentação do grão-de-bico e produção das farinhas.

2.3 Determinação da atividade de água e análise instrumental de cor das farinhas de grão-de-bico

A atividade de água (Aw) foi determinada utilizando-se um higrômetro de ponto de orvalho digital (Aqualab CX2, Decagon Devices Inc., USA). A análise instrumental de cor das farinhas estudadas foi determinada utilizando o colorímetro MiniScan EZ 4500L (HunterLab, Virginia, USA) foram determinados os parâmetros CIELab L*, a* e b* da cor e os valores diferença total da cor (ΔE) foram obtidos de acordo com a metodologia de CHEKIDID et al., 2021.

2.4 Propriedades tecno-funcionais das farinhas de grão-de-bico

Para determinação do índice de absorção de óleo (IAO) das farinhas estudadas (GB_{LC}, GB_{CC} e GB_C) foi utilizada a metodologia de POIANI & MONTANUCI (2019), na qual a amostra (2 g) foi misturada a 13 mL de óleo de milho comercial homogeneizadas no vórtex a 100 rpm por 30 minutos a 25 °C, e em seguida submetidas à centrifugação a 3.000 rpm por 20 minutos. Os sobrenadantes foram descartados, e os sedimentos oleosos foram pesados.

A capacidade emulsificante (CE) (%) e a estabilidade da emulsão (EE) (%) das farinhas GB_{LC}, GB_{CC} e GB_C foram determinadas segundo YASUMATSU et al. (1972). A amostra (3,75 g) foi misturada a 25 mL de água destilada e 25 mL de óleo de milho. Em seguida, as misturas foram emulsionadas usando um agitador a 10.000 rpm por 10 minutos (Model 936 Drink Mixer, Scovill, USA). As emulsões obtidas foram distribuídas em tubos de centrífugas (15 mL), que foram submetidos a centrifugação a 3.000 rpm por 10 minutos e aquecidos a 80 °C por 30 minutos, em banho-maria com agitação. Após essa etapa, parte dos tubos foram novamente submetidos a centrifugação a 3.000 rpm por 10 minutos para a determinação do CE (%) utilizando-se a Equação 1.

$$CE (\%) = \left(\frac{CAE}{CAT} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: CAE é a camada emulsificada (mL) e CAT é a camada total (mL).

Para a determinação da EE (%), o restante dos tubos contendo as emulsões foram aquecidos a 80 °C por 30 minutos em banho-maria e centrifugadas a 3.000 rpm por 10 minutos e a EE (%) foi calculada segundo a Equação 2

$$EE (\%) = \left(\frac{CAER}{CAE} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: CAER é a camada emulsificada restante (mL) e CAE é a camada emulsificada (mL)

O poder de inchamento (PI) foi determinado segundo ROCHA, et al. (2008) e KUSUMAYANTI et al. (2015). O índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas estudadas foi determinado segundo KUSUMAYANTI et al. (2015). As amostras (0,1 g) foram pesadas em tubos de centrífuga e dispersas em 10 mililitros de água destilada que foram homogeneizados, aquecidos em diferentes temperaturas (25°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C e 90°C), em banho-maria por 30 minutos. Após o resfriamento, os tubos foram submetidos a centrifugação a 3.000 rpm por 20 minutos, tendo o sobrenadante coletado e submetido a secagem em estufa a 105°C por 24 horas. O PI, em g/g amido, foi calculado utilizando-se a Equação 3 e o IS (%) foi determinado por meio da Equação 4:

$$PI (g/g) = \left(\frac{PS}{PAS} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

$$ISA (\%) = \left(\frac{PSS}{PA} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: PS: peso sedimento, PAS: peso do amido seco, PA: peso da amostra e PSS: peso sobrenadante seco.

2.5 Capacidade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos totais das farinhas estudadas

Para determinação da capacidade antioxidante das farinhas, foram preparados extratos utilizando 2 g da amostra e 20 mL de uma solução metabólica 70% v/v. A mistura foi homogeneizada e mantida em agitação por 12 h com agitação a 100 rpm. Os extratos foram filtrados e armazenados sob refrigeração (4 °C). O ensaio de sequestro de radicais por DPPH foi baseado na metodologia descrita por RUFINO et al. (2010). A capacidade antioxidante das farinhas estudadas foi determinada pelo método de redução do ferro (FRAP) de acordo com THAIPONG et al. (2006) e como referência foi utilizado o antioxidante padrão (Trolox). Os teores de compostos fenólicos totais foram determinados pelo método de RUFINO et al. (2010), com pequenas modificações e o ácido gálico foi utilizado como referência para construção da curva padrão.

2.6 Analise estatística

As análises do presente estudo foram realizadas em triplicata. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. Os dados foram analisados pela análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey e considerado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As farinhas GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram menor Aw ($p < 0,05$) quando comparadas ao controle GB_C (Tabela 1), sinalizando que as modificações bioquímicas que ocorreram durante o processo de fermentação contribuíram para alterações na estrutura da leguminosa que facilitaram a remoção da água durante a secagem. Comportamento semelhante foi observado em farinhas de mandioca fermentadas com *Lactiplantibacillus plantarum*, que apresentaram Aw de 0,471, enquanto que o controle (sem fermentação) apresentou 0,647 (WANG, et al., 2019).

Tabela 1 – Atividade de água (Aw), parâmetros de cor (L*, a* e b*) e diferença total de cor (ΔE) das amostras de farinhas de grão-de-bico não fermentado (GB_C), fermentado com co-cultura (GB_{CC}) e fermentado com *Lactobacillus casei* (GB_{LC}).

Amostra	Aw*	L*	a*	b*	ΔE^*
GB _C	0,333 ^a ± 0,002	64,50 ^a ± 0,27	3,06 ^a ± 0,05	27,15 ^a ± 0,14	-
GB _{CC}	0,134 ^b ± 0,001	67,15 ^b ± 0,13	2,41 ^b ± 0,03	23,82 ^b ± 0,06	4,30 ^a ± 0,03
GB _{LC}	0,207 ^c ± 0,002	63,12 ^c ± 0,13	2,55 ^c ± 0,01	26,81 ^c ± 0,07	1,50 ^b ± 0,01

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A Aw é um parâmetro fundamental na estabilidade e controle de qualidade dos alimentos (CHISTÈT, et al., 2006). A sua redução é de extrema importância para inibir a proliferação de microrganismos indesejáveis, manter a estabilidade química dos alimentos, minimizar reações de escurecimento não-enzimático, reações de oxidação lipídica e crescimento dos microrganismos (ISA, et al.; 2021). De acordo com CHISTÉ et al. (2006), considera-se a Aw abaixo de 0,60 como o limite mínimo capaz de inibir o desenvolvimento de microrganismos, logo todas farinhas de grão-de-bico estudadas (Tabela 1) apresentaram valor de Aw desfavoráveis para o desenvolvimento de bactérias e fungos.

As propriedades óticas das farinhas fermentadas foram avaliadas devido à relevância da cor dos ingredientes nas formulações de alimentos. Quando comparadas ao controle (GB_C), observou-se que a fermentação com *Lactobacillus casei* ou com a co-cultura afetou de forma significativa ($p < 0,05$) a coloração (Tabela 1) das farinhas de grão-de-bico GB_{LC} e GB_{CC}, respectivamente. Na farinha GB_{CC}, a Luminosidade (L*) aumentou ($p < 0,05$), sinalizando que a cor da amostra ficou mais clara, em comparação ao controle (Tabela 1). No entanto, para a farinha GB_{LC} foi observada redução de L*, sugerindo que a fermentação com *Lactobacillus casei* escureceu ligeiramente a amostra (Tabela 1). Observou-se que a fermentação promoveu

uma redução 16 e 30% do parâmetro a^* para as farinhas GB_{CM} e GB_{LC} , respectivamente em comparação ao controle. Já para o b^* da cor, a redução foi menos acentuada sendo de aproximadamente 12% para farinha GB_{CC} e 1,25% para a GB_{LC} (Tabela 1).

As alterações observadas nos parâmetros L^* , a^* e b^* da cor observadas nas farinhas estudadas impactaram a diferença total da cor (ΔE), sendo que as amostras de farinha GB_{CC} foram mais afetadas que a controle (Tabela 1). Apesar da diferença do ΔE apresentadas pelas farinhas fermentadas e o controle (Tabela 1), pode-se considerar que as mudanças de cor não foram perceptíveis pelo olho humano, pois de acordo com Witzel et al. (1973), isso só ocorre para valores de ΔE superiores a 5.

Para avaliação das tecno-funcionalidades das farinhas estudadas foram determinados os IAO, a CE, a EE, além do PI e o ISA (Tabela 2 e Figura 2 A e B).

Tabela 2 – Índice de absorção de óleo (IAO), capacidade emulsificante (CE) e estabilidade de emulsão (EE) das amostras de farinhas de grão-de-bico não fermentado (GB_C), fermentado com co-cultura (GB_{CC}) e fermentado com *Lactobacillus casei* (GB_{LC}).

Amostra	IAO (g/g)	CE (%)	EE (%)
GB_C	$4,37 \pm 0,05$	$90,00^a \pm 0,01$	$90,00^a \pm 0,03$
GB_{CC}	$4,38^a \pm 0,06$	$80,00^b \pm 4,08$	$82,50^b \pm 2,50$
GB_{LC}	$4,43^a \pm 0,05$	$90,00^a \pm 0,05$	$88,33^c \pm 2,36$

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

O IAO das farinhas estudadas não foi afetado pela fermentação com *Lactobacillus casei* ou com a co-cultura (Tabela 2). Por outro lado, CHANDRA-HIOE et al. (2016) reportaram que a fermentação promoveu o aumento do IAO na faixa de 37 a 42%, para duas cultivares de grão-de-bico fermentadas com co-cultura (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*) por 16 h a 30 °C, em comparação ao controle. Geralmente, o IAO está associado a interação entre a fração lipídica com aminoácidos

hidrofóbicos, logo o aumento da capacidade de absorção de óleo em amostras fermentadas pode ser atribuído à maior disponibilidade de resíduos hidrofóbicos das moléculas de proteínas acarretado pelo processo fermentativo (ELKHALIFA & BERNHARDT, 2010).

A CE (%) da farinha GB_{CC} foi cerca de 11% menor ($p < 0.05$) em comparação à farinha GB_C e a GB_{LC} (Tabela 2). Também foi observada a redução nos valores de EE das farinhas de GB_{CC} e GB_{LC} em comparação a GB_C, apresentando diferença significativa entre elas ($p < 0.05$). A CE (%) é definida como o volume de óleo que pode ser emulsionado pela proteína ou peptídeos presentes nas farinhas antes que a inversão de fase ou colapso da emulsão ocorra (ARTEAGA et al., 2020), enquanto que a EE (%) é um importante parâmetro tecnológico, uma vez que está ligada à prevenção da coalescência das gotículas de óleo, flocação e formação de creme (ENUJIUGH, et al., 2003). Comportamento semelhante foi reportado por ARTEAGA et al. (2020), que observaram que a CE da proteína de ervilha diminuiu significativamente ($p < 0.05$) após fermentação utilizando-se seis diferentes cepas de bactérias ácido-láticas (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus perolens*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus casei*, *Cremoris de leuconostoc mesenteroides subsp. e Pediococcus pentosaceus*) e PEI et al. (2022) observaram redução significativa ($p < 0.05$) nas propriedades emulsificantes de farinha de ervilha fermentada com *Lactobacillus ramnosus*.

As proteínas vegetais apresentam propriedades funcionais que as tornam propícias para a formulação de novos ingredientes e produtos, como por exemplo em produtos sem glúten ou enriquecidos com proteínas. Essas propriedades são dependentes da cadeia estrutural de proteínas e peptídeos, bem como da interação com outras moléculas como lipídeos, carboidratos e água. Além disso, fatores antinutricionais podem formar complexos insolúveis com as proteínas, reduzindo a disponibilidade dessas moléculas, e consequentemente, afetando algumas propriedades tecnológicas (MORA-UZETA, et al., 2020).

Figura 2. Poder de inchamento (PI) (A) e índice de solubilidade em água (ISA) (B) das amostras de farinhas de grão-de-bico não fermentado (GB_C), fermentado com co-cultura (GB_{CC}) e fermentado com *Lactobacillus casei* (GB_{LC}).

De forma geral, o ISA (Figura 2 B) das farinhas de grãos-de-bico estudadas foram afetados pelo aumento de temperatura. O mesmo comportamento não foi observado para o PI (Figura 2 A). O PI é uma medida da capacidade de hidratação dos grânulos de amido da farinha durante o aquecimento (RONKO, et al., 2021).

Apenas a 25 °C e a 60 °C, verificou-se que as farinhas fermentadas com *Lactobacillus casei* ou com co-cultura (GB_{LC} e GB_{CC}) apresentaram alterações significativas ($p < 0.05$) no PI em relação ao controle GB_C (Figura 2 A). GB_{CC} apresentou um aumento a 25 °C e GB_{LC} uma redução a 60 °C.

As farinhas fermentadas GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram menor % de ISA ($p < 0.05$) em relação as sem fermentação (GB_C) em todas as temperaturas estudadas (Figura 2 B), sinalizando que a fermentação pode ter acarretado a redução na quantidade de grupos hidrofílicos disponíveis para interagirem com as moléculas de água, contribuindo para diminuição desta propriedade (REYES-BASTIDAS, et al., 2009). Esse resultado é compatível com os verificados para farinha de feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*) fermentada em estado sólido (*Rhizopus oligosporus*) a 34 °C por 51 h, onde foi verificado o aumento de 44% no PI e a redução de 28% no ISA, nas farinhas fermentadas em relação ao controle (REYES-BASTIDAS, et al., 2009).

A fermentação afetou de forma significativa ($p < 0.05$) a capacidade antioxidante das amostras estudadas em ambas as técnicas empregadas (DPPH e de FRAP), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Capacidade antioxidante (DPPH, FRAP e compostos fenólicos totais) das amostras de farinhas de grão-de-bico não fermentado (GBC,), fermentado com co-cultura (GBCC) e fermentado com *Lactobacillus casei* (GBLC).

Capacidade antioxidante das farinhas de GBC, GBCC, GBLC			
Amostra	DPPH (μ mol TE/g)	FRAP (μ mol TE/g)	FENÓLICOS TOTAIS (mg GAE/g)
GBC	126,68 ^a ± 0,01	29,14 ^a ± 0,01	4,97 ^a ± 0,01
GBCC	118,29 ^{ab} ± 0,02	19, 97 ^b ± 0,01	16,45 ^b ± 0,03
GBLC	114,44 ^b ± 0,03	35,97 ^c ± 0,01	13,12 ^b ± 0,01

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0.05$).

Observou-se uma redução significativa ($p < 0.05$) na capacidade antioxidante medida pela técnica de DPPH para GBCC em comparação ao controle (Tabela 3). Comportamento diferente foi reportado em estudo realizado com grão-de-bico submetido a fermentação em estado sólido com *Bacillus subtilis*, cuja atividade do radical DPPH aumentou após 48 h (LI E WANG, 2021).

Quanto aos ensaios de FRAP (Tabela 3), verificou-se que a fermentação com *Lactobacillus casei* aumentou ($p < 0.05$) a capacidade antioxidante da farinha GBLC em relação ao controle (Tabela 3). Esse mesmo comportamento, não foi observado para as amostras de farinhas fermentadas com co-cultura (GBCC) que apresentaram redução significativa ($p < 0.05$) da capacidade antioxidante em comparação ao controle (GBC). As diferenças nas propriedades antioxidantes das amostras de farinhas após a fermentação podem estar associadas a variações qualitativas e quantitativas nas atividades enzimáticas com diferentes cepas de *Lactobacillus*, assim como no tempo de fermentação, uma vez que o processo de fermentação com a utilização de bactérias ácido-láticas é capaz de alterar a atividade enzimática, podendo ocorrer um aumento ou redução na liberação dos compostos antioxidantes (LI E WANG, 2019).

Para o teor de compostos fenólicos totais, observou-se um aumento significativo ($p < 0.05$) na farinha GB_{CC} (231%) e GB_{LC} (164%) em comparação ao controle (farinha GB_C) (Tabela 3). Esse resultado pode estar associado a uma maior liberação de compostos fenólicos da parede celular dos vegetais, devido ao aumento da atividade das enzimas proteases que ocorre durante o processo fermentativo (GARRIDO-GALAND, et al., 2021). Esse mesmo comportamento foi observado em estudo realizado com 4 diferentes de grão de bico fermentados, em que o teor de fenólico foi significativamente maior ($p < 0.05$), após 72 h de fermentação (KLONGKLAEW, et al., 2022).

4. CONCLUSÃO

De forma geral, as técnicas de fermentação estudadas (*Lactobacillus casei* ou com co-cultura) se mostraram viáveis e de baixo custo para promover melhorias nas propriedades tecno-funcionais e na capacidade antioxidante de farinhas de grão-de-bico. Além disso, ambas as farinhas fermentadas (GB_{CC} e GB_{LC}) apresentaram menor atividade de água, o que melhorou a estabilidade microbiológica em comparação a farinha não fermentada. A fermentação com a co-cultura originou farinhas com colorações mais claras, com maior capacidade antioxidante e maior teor de compostos fenólicos totais, no entanto, com menor capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão, em relação as fermentadas apenas com *Lactobacillus casei*, destacando a importância de seleção dos microrganismos que realizarão a fermentação. A ampliação dos estudos de otimização do tempo de fermentação e a escolha das cepas são áreas de pesquisa importantes para futuros produtos fermentados à base de leguminosas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ (Processo: E-26/210.631/2019) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

7. REFERÊNCIAS

AISA, H. A. et al. Beneficial Role of Chickpea (*Cicer arietinum L.*) Functional Factors in the Intervention of Metabolic Syndrome and Diabetes Mellitus. 2° Ed. Preedy: Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes (Second Edition), Academic Press, 2019, p. 615-627.

ARTEAGA, V. G. et al. Sensory profile, functional properties and molecular weight distribution of fermented pea protein isolate. **Current Research in Food Science**, v.4, p.1-10, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.12.001>> Acessado: 09 May 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Plano Nacional de Desenvolvimento da Cadeia do Feijão e Pulses, que são a lentilha, grão-de-bico e ervilha. Disponível em <[cartilhafeijaobaixa.pdf \(www.gov.br\)](http://www.gov.br)> Acessado: 07 Jun 2023.

CHANDRA-HIOE, M.V. The Potential Use of Fermented Chickpea and Faba Bean Flour as Food Ingredients. **Plant Foods Human Nutrition**, v.71, p. 90–95, 2016. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0532-y> > Acessado: 07 Jun 2023.

CHEKDID, A. A. et al . Mixture design applied for formulation and characterization of vegetal-based fermented products. **LWT - Food Science and Technology, Germany**, v.146, n. 7, p. 1-10, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111336>> Acessado: 07 Aug 2023.

ELKHALIFA, A. E. O.; Bernhardt, R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, v. 121, n. 2, p. 387-392, 2010. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.041>> Acessado: 12 Jun 2023.

ENUJIUGH, V. N. et al. O. Effect of germination on the functional properties of African bean (*Pentaclethra macrophylla Benth*) seed flour. **Journal of Food, Agriculture and Environment** v.1, n.3, p. 72-75, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299175286_Effect_of_germination_on_the_nutritional_and_functional_properties_of_African_oil_bean_Pentaclethra_mmacrophylla_Benth_seed_flour Acessado: 22 Jun 2023.

FAO - Food and Agriculture organization of the United Nations. 2019. Global economy of pulses. Rome. Disponível em<<https://www.fao.org/documents/card/ru/c/i7108en/>> Acessado: 12 Jun 2023.

GARRIDO-GALAND, S. et al. The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review, **Food Research International**, v. 145, n.2, p. 398, 2021. Disponível em< <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110398> > Acessado: 18 Aug 2023.

IRITI, M.; VARONI, E. M. Pulses, Healthy, and Sustainable Food Sources for Feeding the Planet. **International Journal of Molecular Science**, Basileia, v. 18, n.2, p. 1-6, 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.3390/ijms18020255>> Acessado: 18 Jun 2023.

ISA, N. L. M. et al. Physicochemical properties and characterization of fermented cassava flour by lactic acid bacteria. **International Conference on Biodiversity**, v. 36, n.2, p. 1-11, 2021. Disponível em< [doi:10.1088/1755-1315/736/1/012023](https://doi.org/10.1088/1755-1315/736/1/012023)> Acessado: 18 Jun 2023.

KAUR, R. & PRASAD, K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 109, p. 448-463, 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.044>> Acessado: 10 Nov 2023

KLONGKLAEW, A. et al. Lactic acid bacteria based fermentation strategy to improve phenolic bioactive-linked functional qualities of select chickpea (*Cicer arietinum L.*) varieties,

Journal NFS, v.27, n.3, p. 36-46, 2022. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.nfs.2022.03.004>> Acessado: 02 Mai 2023.

LI, W.; WANG, T. Effect of solid-state fermentation with *Bacillus subtilis*two on the proteolysis and antioxidant properties of chickpeas. **International Journal of Food**

Microbiology, v.3, p.108-119, n.1, 2021. Disponível

em <<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108988>> Acessado: 22 May 2023.

PEI, M. et al. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08, **Food Bioscience**, v.46, n.2, p. 1-8, 2022. Available from <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101590>> Acessed: 20 May 2023.

POIANI, M. R.; MONTANUCI, F. D. Physical, technological characterization and texture profile of grapefruit and flaxseed cookies. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, p. 1–14, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/1981-6723.07418>> Acessado: 20 May 2023.

KUSUMAYANTI, H. Et al. Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdã, v. 23, p. 164–167, 2015. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.025>> Acessado: 22 Jun 2022.

ROCHA, T. R. et al. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Revista Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p. 620-628, 2008. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300018>> Acessado: 09 Nov 2023.

RONKO, L. Z. et al. Caracterização físico-química de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris L.*) e das propriedades tecnológicas de sua fração amido. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 1, p. 3534-3555, 2021. Disponível em<<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta>>Acessado: 28 Oct 2023.

REYES- BASTIDAS, M. et al. Physicochemical, Nutritional and Antioxidant Properties of Tempeh Flour from Common Bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **Food Science and Technology International**, v.16, n.5, p.427-434, 2010. Disponível em<<http://dx.doi.org/10.1177/1082013210367559>> Acessado: 02 Aug 2023.

RUFINO, M. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996-1002, 2010. Disponível em<<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>> Acessado: 20 May 2023.

SARKAR, B. D. et al. Beneficial Lactic Acid Bacteria (LAB)-Based Biotransformation of Plant and Dairy Substrates to Enhance Type 2 Diabetes-Relevant Health Benefits, 1º ed.: **Functional Foods and Biotechnology**, 2020.

SENANAYAKE, D. et al. Microbial Fermentation for Improving the Sensory, Nutritional and Functional Attributes of Legumes. **Fermentation**, v.9, n.7, p. 1-25, 2023. Disponível em<<https://doi.org/10.3390/fermentation9070635>> Acessado: 05 May 2023.

THAIPONG, K. et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**,

v. 19, p.669-675, 2006. Disponível em< [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JFCA.2006.01.003](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003)>
Acessado: 15 Oct 2022.

WANG, S. et al. *Pediococcus acidilactici* strains as silage inoculants for improving the fermentation quality, nutritive value and *in vitro* ruminal digestibility in different forages.

Journal of Applied Microbiology, v. 126, n.1, p.424-434, 2019. Disponível em<
<https://doi.org/10.1111/jam.14146>> Acessado: 15 Oct 2022.

WITZEL, R. F. Et al. Threshold and suprathreshold perceptual color differences. **Journal of the Optical Society of America**. v.63, n.5, p.615-625, 1973. Disponível em <
<https://doi.org/10.1364/JOSA.63.000615>> Acessado: 10 Aug 2022.

YADAV, A. R.; GUHA, M.; THARA, R. N.; RAMTEK, R. S. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by differendrying techniques, LWT - Food Science and Technology, v. 39, n. 1, p. 20-26, 2006. Disponível em<
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.12.010>> Acessado: 08 Aug 2023.

YASUMATSU, K. U.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 36, n. 5, p. 719–727, 1972. Disponível em<
<https://doi.org/10.1080/00021369.1972.10860321>> Acessado: 08 Aug 2023.

XIAO, Y. et al. Enhancement of the antioxidant capacity of soy whey by fermentation with *Lactobacillus plantarum* B1–6, **Journal of Functional Foods**, v.12, p.33-44, 2015. Disponível em <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.033>> Acessado: 05 Aug 2023.

CAPÍTULO III

Propriedades físico-químicas e nutricionais de farinha de grão de bico fermentada por sistema de cultivo axênico ou por co-cultura

Amanda Fulgoni da Cunha Estanech

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Paulo Cezar da Cunha Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ
E-mail: pc.cunha.alim@gmail.com

Antonio Renato Bigansolli

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ
E-mail: bigansolli.arb@gmail.com

Elisa Helena da Rocha Ferreira

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ
E-mail: lucena@ufrj.br

José Lucena Barbosa Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Manuscrito em preparação para ser enviado a Revista FOOD SCIENCE &

NUTRITION (Qualis Capes A4)

RESUMO

As leguminosas são uma importante fonte de proteína, aminoácidos essenciais e fibras. A produção de farinha de leguminosas está cada vez mais popular, devido ao seu alto valor nutricional e substituição de produtos de origem animal. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da fermentação com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) nas propriedades físico-químicas e nutricionais em farinha de grão-de-bico (GB). O GB foi fermentado a 28 °C por 96 h com *Lacticaseibacillus casei* ou a co-cultura, resultando nas amostras GB_{LC} e GB_{CC}, respectivamente, seco a 50 °C e moído para obtenção das farinhas. O grão de bico não-fermentado (GB_C) foi utilizado como controle. Os resultados da caracterização físico-química das farinhas mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$) para a farinha produzida com GB_{CC}, reduzindo a umidade, aumentando o teor de proteína, cinzas e fibras, e redução no teor de lipídeos para farinha produzida com GB_{LC}. Para o perfil de minerais, GB_{CC} e GB_{LC}, apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) nos teores de ferro, manganês e magnésio e para os minerais cálcio e cromo pode-se observar um aumento significativo ($p < 0,05$) em ambas as amostras, em comparação a GB_C. Conforme esperado para os processos fermentativos, observou-se redução significativa ($p < 0,05$) do pH e aumento da acidez nas farinhas GB_{CC} e GB_{LC}, melhorando a estabilidade microbiológica das farinhas produzidas. Na distribuição de partículas das farinhas observou-se que as amostras de GB_{CC} apresentaram tamanho de partículas maior em comparação com a GB_C.

Palavras-chave: Leguminosas, *pulses*, fermentação, bioprocessamento.

ABSTRACT

Legumes are an important source of protein, essential amino acids and fiber. The production of legume flour is increasingly popular, due to its high nutritional value and replacement of animal products. The objective of the present work was to evaluate the effect of fermentation with *Lacticaseibacillus casei* or co-culture (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) on the physicochemical and nutritional properties of chickpea flour (GB). The GB was fermented at 28 °C for 96 h with *Lacticaseibacillus casei* or co-culture, resulting in the GBLC and GBCC samples, respectively, dried at 50 °C and ground to obtain flours. Unfermented chickpeas (GBC) were used as a control. The results of the physicochemical characterization of the flours showed significant differences ($p < 0.05$) for the flour produced with GBCC, reducing moisture, increasing the protein, ash and fiber content, and reducing the lipid content for flour produced with GBLC. For the mineral profile, GBCC and GBLC, there was a significant reduction ($p < 0.05$) in the contents of iron, manganese and magnesium and for the minerals calcium and chromium a significant increase ($p < 0.05$) could be observed in both samples, compared to GBC. A significant reduction ($p < 0.05$) in pH and increase in acidity content was observed for GBCC and GBLC, improving the microbiological stability of the flours produced. In the particle distribution of the flours, it was observed that the GBCC samples had slightly larger particle sizes compared to the GBC.

Keywords: Legumes, pulses, fermentation, bioprocessing.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os consumidores estão buscando alimentos saudáveis e diferenciados e as farinhas de leguminosas estão cada vez mais populares na substituição de produtos de origem animal, devido ao recente interesse na produção sustentável de alimentos e aos benefícios proporcionados à saúde (ADEBO, 2020; AGUILAR-RAYMUNDO & VÉLEZ-RUIZ, 2018).

As leguminosas são uma importante fonte de proteínas, que podem variar de 20% em ervilhas ou feijões comuns e até 40% em soja. Apresentam 14-33% de fibra dietética contribuindo para a redução do índice glicêmico, são ricas em aminoácidos essenciais, além de importantes vitaminas e minerais como ácido fólico, tiamina, riboflavina, ferro, zinco e cálcio (SINGH, et al., 2016). Portanto, são consideradas altamente importantes na nutrição humana e animal (CHAWLA, et al., 2017).

O grão-de-bico, particularmente, é uma fonte de energia, proteína, minerais, vitaminas e fibras, além de fitoquímicos potencialmente benéficos à saúde. O seu consumo também está associado a redução de doenças cardiovasculares, de diabetes tipo II e de câncer (WOOD & GRUSAK, 2007). Na última década, a produção mundial de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) apresentou crescimento constante, representando atualmente a segunda maior produção de *pulses* (FAO, 2018; MERGA & HAJI, 2019).

Para potencializar a qualidade nutricional e tecnológica de farinhas, a fermentação com bactérias ácido-láticas tem sido aplicada ao processamento de produtos à base de leguminosas (ADEBO, 2020). Em estudo realizado com farinha de soja fermentada por *Lacticaseibacillus casei* observou-se alterações dos componentes nutricionais da farinha de soja. De acordo com o estudo houve um aumento significativo nos teores de proteína total e vitaminas B1, B2 (Li et al., 2020).

A fermentação tem demonstrado ser capaz de melhorar a digestibilidade das proteínas vegetais, aumentar os níveis de proteína e sua biodisponibilidade e bioacessibilidade, reduzir fatores antinutricionais, melhorando o valor nutricional do produto final (CURIEL, et al., 2015; KUMITCH, 2019).

Considerando os benefícios e propriedades nutricionais de produtos fermentados de leguminosas, o presente trabalho teve como objetivo estudar as alterações nas propriedades físico-químicas e nutricionais da farinha de grão-de-bico fermentado com *Lactobacillus casei* ou com co-cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O grão-de-bico e a co-cultura comercial (*Lactobacillus acidophilus* LA5[®] – 6 log UFC g⁻¹; *Bifidobacterium lactis* BB12[®] – 6 log UFC g⁻¹; *Streptococcus thermophilus* – 6 log UFC g⁻¹) (BioRich, Chr. Hansen, Valinhos, São Paulo, Brasil) foram adquiridos em comércio local do município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. A cultura liofilizada de *Lacticaseibacillus casei* (Lyofast BGP93) foi cedida pela empresa SACCO Brasil (São Paulo, Brasil).

2.2 Preparo das farinhas de grão-de-bico fermentadas com *Lacticaseibacillus casei* ou por co-cultura

O grão-de-bico (GB) foi lavado em água corrente e submerso em água destilada durante 12 h, na proporção de 500 g de GB para 2 litros de água destilada (Figura 1). Em seguida, a água foi descartada e substituída usando uma proporção de 1:1 (GB:água), e submetido ao processo de esterilização em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após esta etapa, o GB foi resfriado em temperatura ambiente (25 °C). Após esta etapa, o GB foi separado em 2 porções de 100 g, a primeira porção adicionou-se *Lacticaseibacillus Casei* (GB_{LC}) na concentração de

de 0,2 g L⁻¹ (9 log UFC g⁻¹), conforme as especificações do fabricante enquanto que a segunda porção, foi adicionada a co-cultura comercial (GB_{CC}) na concentração de 0,4 g L⁻¹, seguindo também as especificações recomendadas pelo fabricante. As amostras de GB_{LC} e GB_{CC} foram submetidas a fermentação em método submerso em estufa a 28 °C por 96 h, seguindo a metodologia proposta por XIAO et al. (2015), onde o grão-de-bico esterilizado e não fermentado (GB_C) foi utilizado como controle. Em seguida, os grãos fermentados (GB_{LC} e GB_{CC}) e não fermentados (GB_C) foram prensados em tecido estéril de poliéster para remoção do excesso de água.

Para a produção das farinhas (Figura 1), os grãos fermentados (GB_{LC} e GB_{CC}) e o controle foram submetidos à secagem em secador (Microventilador E15CD) a 50 °C até a obtenção do peso constante (após 5 h de secagem). Os grãos fermentados e secos foram moídos em moinho de facas por 40 segundos (IKA A11BS032, Staufen, Alemanha), peneirados por peneira com abertura de 710 µm, obtendo-se 3 farinhas: GB_{LC} (GB fermentado com *Lacticaseibacillus casei*), GB_{CC} (GB fermentado com co-cultura) e GB_C (amostra controle – não fermentada). As farinhas obtidas foram armazenadas em frascos de vidro hermeticamente fechados durante e acondicionados sob refrigeração a 4 °C e protegidas da luz, por aproximadamente 4 horas, após foram realizadas as análises.

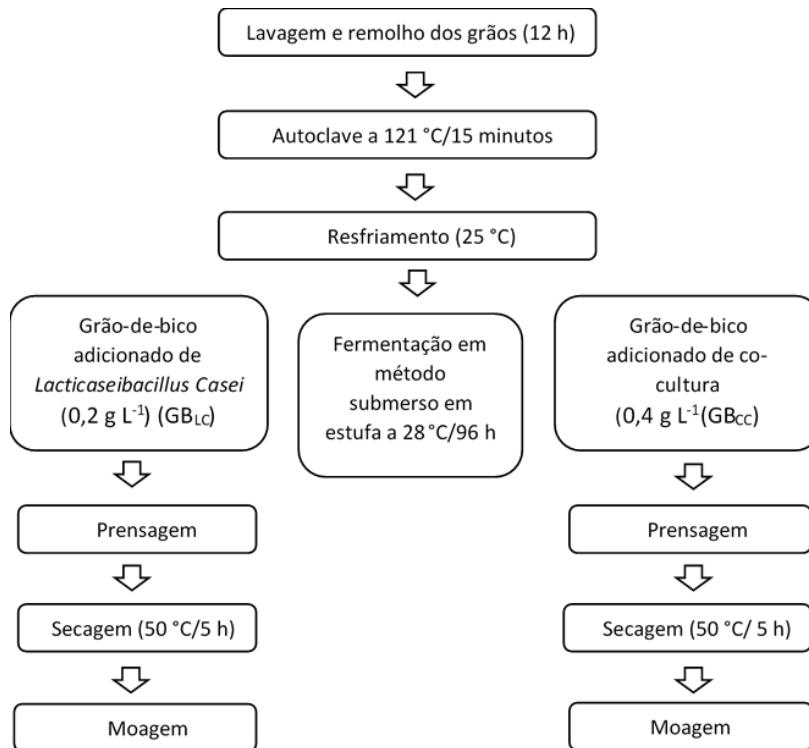


Figura 1. Fluxograma dos procedimentos para fermentação do grão-de-bico e produção das farinhas.

2.3 Caracterização físico-química e nutricional

Os teores de umidade, proteínas, lipídeos, cinzas, amido e fibras foram determinados seguindo metodologias preconizadas por Official Methods of Analysis (AOAC) (2005) e (2012). Os resultados foram expressos em (%) em base seca. O teor de carboidratos não amiláceos (CNA) foi determinado por diferença, conforme a Equação 1:

$$\text{CNA} = 100 - (\text{umidade} + \text{proteínas} + \text{lipídeos} + \text{cinzas} + \text{amido} + \text{fibras totais}) \quad (\text{Equação 1})$$

O valor energético total (VET) das farinhas foi calculado considerando os fatores de conversão de 4 kcal/ g para proteína ou carboidrato e 9 Kcal/ g para lipídeos. O VET total foi expresso em Kcal (AOAC, 2010).

O cálculo de valor diário recomendado (VDR) para os principais nutrientes para o consumo de uma porção das farinhas estudadas foi determinado considerando-se a IN n° 75 de 2020 e RDC n° 429 de 2020.

2.4 Perfil de minerais

As determinações dos minerais das farinhas estudadas foram realizadas de acordo com os métodos da AOAC (2000). A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma, sendo a determinação realizada por espectrometria de emissão atômica, depois de uma digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico (AOAC, 2000).

2.5 pH e acidez titulável

O pH foi determinado usando um pHmetro digital (Starter 2100, Ohaus, Barueri, Brasil) e a acidez total titulável foi determinada por titulação utilizando-se uma solução de hidróxido de sódio (0,1 N) (AOAC, 2012).

2.6 Análise instrumental de cor

A análise instrumental de cor das farinhas estudadas foi determinada utilizando colorímetro MiniScan EZ 4500 L (HunterLab, Virginia, USA). Para Chroma (C*) e índice de amarelecimento (YI) foi utilizada a Equação 2 e a Equação 3 (Pathare, et al., 2012).

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

$$YI = \frac{(142 \times 86b)}{L} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: L= luminosidade; a = coordenada vermelho/verde; b= coordenada amarelo/ azul

2.7 Distribuição do tamanho das partículas

A distribuição do tamanho das partículas das farinhas de grão-de-bico (GB_{LC}, GB_{CC} e

GB_C) foram determinadas por difração a laser. O índice de refração foi de 1,49429 e o índice de absorção foi de 0,1. O parâmetro medido foi a distribuição percentual do volume das partículas em função do tamanho de partícula em μm (MONNET, et al., 2019).

2.8 Análise estatística

As análises do presente estudo foram realizadas em triplicata. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. Os dados foram analisados utilizando-se o software STATISTICA 7®. Foi realizada a análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey e considerado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fermentação por *Lacticaseibacillus casei* ou co-cultura afetou ($p < 0,05$) as propriedades físico-químicas e nutricionais das farinhas produzidas a partir do grão-de-bico fermentado. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização físico-química e nutricional das amostras de farinhas de grão-de-bico (g/100g) não fermentado (GB_C), fermentado com co-cultura (GB_{CC}) e fermentado com *Lacticaseibacillus casei* (GB_{LC})

Componentes	Amostras**		
	GB_C	GB_{CC}	GB_{LC}
Umidade	5,64 ^a \pm 0,44	2,69 ^b \pm 0,10	5,55 ^a \pm 0,12
Proteína	17,47 ^b \pm 1,79	20,58 ^a \pm 0,74	17,29 ^b \pm 1,52
Lipídeos	8,60 ^{ab} \pm 0,50	8,76 ^a \pm 0,12	7,67 ^b \pm 0,38
CNA	14,58 ^a \pm 0,06	7,61 ^b \pm 0,22	10,78 ^c \pm 1,94
Amido	30,37 ^a \pm 0,22	29,08 ^b \pm 1,06	30,48 ^a \pm 0,71
Cinzas	1,09 ^b \pm 0,08	1,38 ^a \pm 0,09	1,02 ^b \pm 0,06

Fibras	22,25 ^c ± 0,03	29,90 ^a ± 0,02	27,21 ^b ± 0,09
VET* (Kcal)	416,08 ^b ± 0,18	427,50 ^a ± 0,75	412,07 ^c ± 0,51

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

GB_C – Farinha de grão-de-bico não fermentado

GB_{CC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com co-cultura

GB_{LC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei*

CNA – Carboidratos não amiláceos

VET* – Valor energético total

**Componentes em base seca (%)

A fermentação afetou de forma significativa ($p < 0,05$) o teor de umidade das farinhas de grão-de-bico fermentadas com a co-cultura em comparação as demais (Tabela 1), que apresentou redução de 52,30 % em comparação a farinha controle (GB_C). A redução no teor de umidade da GB_{CC} demonstrou que as modificações bioquímicas que ocorreram durante o processo de fermentação contribuíram para alterações na estrutura da leguminosa que facilitaram a remoção da água durante a secagem (ODEY & LEE, 2019).

Na farinha de grão-de-bico fermentado com co-cultura (GB_{CC}) observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) no teor de proteínas (Tabela 1), com aumento de 17,8% em comparação a farinha de grão-de-bico não fermentado (GB_C).

O mesmo aumento no teor de proteínas não foi observado para a farinha de grão-de-bico fermentada com *Lacticaseibacillus casei* (GB_{LC}) essa diferença pode ser explicada pois a utilização da co-cultura composta por *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus* pode ter promovido uma sinergia entre microrganismos, produzindo maiores modificações no perfil de nutrientes do que a cultura individual. Essa sinergia parece favorecer o aumento no teor de proteínas em comparação à fermentação da cepa individual (OLUKOMAIAYA et al., 2020). De acordo com Chavez-Lopez et al. (2014), a fermentação bacteriana produz a hidrólise e o aumento da concentração de aminoácidos, devido à degradação da proteína complexa (proteólise) por microrganismo, liberando

peptídeos e aminoácidos. Ervilhas (*Pisum sativum*) fermentadas com *Aspergillus niger* e *Aspergillus oryzae* por 6 h a 40 °C para obter farinha enriquecida com proteína de ervilha fermentada levou a um aumento de 15% de proteína (KUMITCH et al., 2020). Um aumento no teor de proteína (20%) também foi observado em estudo realizado com feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) fermentado com *Limosilactobacillus* por 72 h a 37 °C. Pressupõe-se que o aumento foi gerado pela habilidade dos microrganismos de promoverem a síntese de aminoácidos necessários para o seu crescimento e desenvolvimento, durante o processo de fermentação (BARAMPAMA & SIMARD, 1995; STEVE, 2012).

Outra mudança encontrada nas farinhas produzidas a partir do grão-de-bico foi a redução ($p < 0,05$) no teor de lipídeos observado na farinha de GB_{LC} apenas com relação a amostra de farinha de GB_{CC} (Tabela 1). O mesmo comportamento foi reportado para soja fermentada por *Lacticaseibacillus casei*, que reduziu em 22,16% no teor de lipídeos e também em farinha de feijão tepary (*Acutifolius phaselous*) fermentada por *Rhizopus oligosporus* com redução de 47,45%. Essa redução também pode ocorrer pela utilização dos nutrientes como substrato (lipídeos, carboidratos e amido) pelos microrganismos utilizados no processo de fermentação (BARAMPAMA & SIMARD, 1995).

Nos teores de cinzas observou-se um aumento significativo ($p < 0,05$) de 26,6 % para GB_{CC} em comparação a GB_C. Granito et al., (2005) evidenciaram um comportamento diferente, com redução significativa ($p < 0,05$) no conteúdo de cinzas durante a fermentação de duas variedades de feijões (*Vigna sinensis*) (51,28 %; 42,10 %). Essa redução foi justificada pela lixiviação de elementos minerais em água de fermentação descartada e a utilização de elementos minerais para o crescimento adequado de microrganismos durante a fermentação.

Para os teores de fibras, GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram um aumento significativo ($p < 0,05$) em relação a GB_C. GB_{CC} obteve 34,38% e GB_{LC} 22,29% (Tabela 1). Um importante fator é que, as fibras alimentares estão presentes, principalmente, em alimentos de origem vegetal. Dessa

forma uma dieta balanceada, composta por diversos vegetais, como as leguminosas contribuem de forma benéfica para a adequação da ingestão de fibras (SLAVIN, 2008). As fibras tem papel fundamental no organismo humano, de todos os efeitos benéficos talvez o mais conhecido e apreciado seja o efeito na motilidade intestinal e na prevenção da constipação (BARBER, et al., 2020). O seu consumo regular e adequado está associado à prevenção de câncer de cólon e reto, doença cardiovascular, hipertensão, acidente vascular cerebral, obesidade e diabetes tipo II, assim redução da pressão arterial, redução da resposta glicêmica e do colesterol LDL e total (WHO, 2003; BARBER, et al., 2020).

Outra mudança observada foi para o teor de amido e CNA , onde GB_{CC} apresentou uma redução significativa ($p < 0,05$) em ambos componentes em relação a GB_C (Tabela 1). Em leguminosas, a fermentação tem levado tanto à diminuição quanto ao aumento do teor de carboidratos ou amido (ADEBO, et al., 2022). Teores de carboidrato reduziram de 24,3 % para 22,33 % e de 29,7 % para 22,9 % em duas variedades fermentadas de sementes de feijões (*Vigna sinensis*). Segundo os autores, essa redução ocorreu, devido, a utilização dos carboidratos disponíveis como substrato para as atividades microbianas e enzimáticas (GRANITO, et al., 2005).

O VET das farinhas GB_C, GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre elas. Em relação à amostra controle, GB_{CC} apresentou um aumento significativo ($p < 0,05$) de 2,75%. Esse aumento pode ser justificado pelo acréscimo no teor dos macronutrientes (proteína e lipídio) da amostra GB_{CC} em comparação a GB_C.

No Quadro 1 estão apresentados os percentuais atendidos de valor diário de referência (VDR) dos principais macronutrientes das farinhas estudadas. Para o cálculo do % VDR considerou-se o consumo de porção diária de referência de 50 g para a categoria de *Farinhas de cereais e tubérculos, todos os tipos*; conforme a Instrução Normativa (IN 75) de 2020, que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos

embalados (Brasil, 2020).

Quadro 1. Percentuais atendidos do valor diário de referência (VDR) do consumo de uma porção (50 g) das farinhas de grão-de-bico estudadas para uma dieta de 2.000 kcal.

Nutrientes	% da VDR fornecido pelo consumo de uma porção de 50 g de farinha.		
	GBc	GBcc	GBLC
Proteína	17, 5 %	20, 6 %	17, 2 %
Gordura totais	6, 6%	6, 7 %	5,9 %
Carboidratos	11, 2 %	11 %	11,4 %
Fibras	44, 5 %	59, 8 %	54, 4 %
VET* (Kcal)	10, 4 %	10, 7 %	10, 3 %

GB_C – Farinha de grão-de-bico não fermentado

GB_{CC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com co-cultura

GB_{LC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei*

VDR – Valor diário de referência

VET* – Valor energético total

Segundo a IN n°75 de 2020, as farinhas de GBc, GBcc e GB_{LC} foram classificadas como fonte de proteínas uma vez que o consumo de uma porção de 50g foi capaz de fornecer mais de 10% do VDR de proteínas (Quadro 1) de referência (50 g).

A farinha de GBcc foi a que apresentou maior teor de proteínas em comparação as demais (Quadro 1) e o consumo de uma porção de 50 g foi capaz de fornecer cerca de 20% (10, 29g de proteínas) do valor diário de referência (VDR) para uma dieta de 2.000 kcal (Brasil, 2020). Por fornecer mais de 20% do VDR de proteínas por porção de referência (Quadro 1) a farinha GBcc pode ser classificada como de alto conteúdo em proteínas.

Em relação ao teor de gorduras totais, GB_{CC} apresentou na porção de 50 g em torno de 7% do valor diário de referência (VDR) para uma dieta de 2.000 kcal e GB_{LC}, em torno de 6 % do VDR. O VDR para gorduras totais é de 65 g/dia (Brasil, 2020). Para os carboidratos GB_{LC} apresentou percentuais (%) de contribuição. O consumo da porção (50 g) da farinha GB_{LC} é capaz de contribuir com 11,41 % da VRD para carboidratos que é de 300g/ dia (Brasil, 2020).

O teor de fibras para o consumo da porção de 50 g de GB_{CC} apresentou em torno de 60 % da VDR. A VDR para fibras é de 25 g/dia com base em uma dieta de 2.000 kcal, de acordo com a Instrução Normativa-IN nº 75, para fins de rotulagem nutricional de alimentos (Brasil, 2020). GB_C e GB_{LC} apresentaram respectivamente, 44,5 % e 54,42 % da VDR para fibras. Com relação aos atributos nutricionais, todas as farinhas de GB estudadas (Quadro 1) foram classificadas como aumentado em fibras, o consumo de uma porção foi capaz de fornecer acima de 25 % dos valores diários de referência (VDR) desse nutriente (BRASIL, 2020).

Outra importante recomendação para o consumo de fibras está apresentada no quadro 2. São as recomendações de acordo com o *The Institute of Medicine* (IOM) ou *Dietary Reference Intakes* (DRIs) para o consumo de fibras nas diferentes faixas etárias e gêneros.

Quadro 2. Recomendação nutricional de acordo com o *The Institute of Medicine* (IOM) ou *Dietary Reference Intakes* (DRIs), para o consumo recomendado de fibras na dieta (g/ dia) e percentual (%) corresponde a DRIs ao consumo da porção (50 g) das farinhas estudadas.

Recomendação nutricional de fibras (g/dia) e percentual correspondente a DRIs para o consumo da porção (50 g) das farinhas				
Faixa etária (anos)	Fibras (g/dia)	Porção GBc	Porção GBCC	Porção GBLC
1 – 3	Menino - 19	58, 6 %	78, 7 %	71,6 %
	Menina - 19	58, 6 %	78, 7 %	71,6 %
4 - 8	Menino - 25	45, 2 %	60 %	54, 4 %
	Menina - 25	45, 2 %	60 %	54, 4 %
9 - 13	Menino - 31	36, 2 %	48, 2 %	43, 9 %
	Menina - 28	39, 7 %	53, 4 %	48, 6 %
14 - 18	Menino - 38	29, 3 %	39, 3 %	35, 8 %
	Menina - 26	42, 8 %	57, 5 %	52, 3 %
19 - 50	Homem -38	29, 3 %	39, 3 %	35, 8 %
	Mulher - 25	44, 5 %	59, 8 %	54, 4 %
51 - 70	Homem -30	37, 1 %	49, 8 %	45, 3 %
	Mulher - 21	53 %	71, 2 %	64, 7 %
> 70	Homem -30	37, 1 %	49, 8 %	45, 3 %
	Mulher - 21	53, 1 %	71, 2 %	64, 7 %

(IOM, 2005)

Ao considerarmos o consumo recomendado de fibras na dieta de indivíduos adultos, como apresentado no quadro 2, o consumo ideal é para homens (19 - 50 anos), o consumo de 38 gramas de fibras por dia. Já para mulheres (19 - 50 anos), essa recomendação é de 25 gramas por dia (IOM, 2005). O consumo da porção (50 g) das farinhas GBc, GBCC GBLC para os homens fornecem respectivamente 29, 3 %, 39, 3 %, 35, 8 % da ingestão adequada de consumo

de fibras (AI/dia), já para as mulheres a porção (50 g) de GB_C, GB_{CC} GB_{LC} fornecem 44, 5%, 59, 8%, 54, 4% da AI/dia para fibras, respectivamente. Os demais valores correspondentes (%) para as DRIs do consumo da porção (50 g) das farinhas GB_C, GB_{CC} e GB_{LC} para as diferentes faixas etárias e gêneros estão apresentados no quadro 2.

Para o perfil de minerais as farinhas de GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram redução significativa ($p < 0,05$) nos teores de ferro, manganês e magnésio. A redução de minerais durante os processos fermentativos deve-se a sua utilização pelos microrganismos durante o processo em questão para suas atividades fisiológicas e metabólicas (ADEBIYI, et al., 2019). O mesmo comportamento não foi observado para minerais como cálcio e cromo, que apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) em comparação a GB_C (Tabela 2).

Tabela 02 - Perfil de mineral em mg/100 g das amostras de farinhas de grão-de-bico não fermentado (GB_C), fermentado com co-cultura (GB_{CC}) e fermentado com *Lactobacillus casei* (GB_{LC}).

Perfil de minerais (mg/100g)			
	GB _C	GB _{CC}	GB _{LC}
Zinco	0,26 ^a ± 0,01	0,23 ^a ± 0,01	0,25 ^a ± 0,00
Cobre	0,06 ^b ± 0,00	0,07 ^a ± 0,01	0,06 ^{ab} ± 0,00
Ferro	2,77 ^a ± 0,16	2,69 ^a ± 0,13	2,52 ^a ± 0,02
Manganês	0,25 ^a ± 0,00	0,21 ^b ± 0,01	0,19 ^b ± 0,00
Níquel	0,15 ^a ± 0,09	0,22 ^a ± 0,01	0,20 ^a ± 0,04
Cromo	0,60 ^b ± 0,07	0,67 ^a ± 0,01	0,66 ^a ± 0,00
Magnésio	3,60 ^a ± 0,02	2,84 ^b ± 0,05	2,72 ^b ± 0,09
Cobalto	0,03 ^a ± 0,00	0,03 ^a ± 0,02	0,02 ^a ± 0,02
Cálcio	17,07 ^b ± 0,04	18,84 ^a ± 0,08	18,18 ^{ab} ± 0,24
Alumínio	10,73 ^a ± 0,15	10,65 ^a ± 0,35	10,90 ^a ± 0,03

GB_C – Farinha de grão-de-bico não fermentado

GB_{CC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com co-cultura

GB_{LC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei*

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0.05$).

Para cálcio GB_{CC} obteve um aumento de 11% e GB_{LC} um aumento de 7% em comparação a GB_{C} . O aumento dos elementos minerais como cálcio e cromo, pode ser atribuído a uma melhora na extração e disponibilidade desses minerais, devido a fermentação, assim como a atividades metabólicas de microrganismos e a hidrólise de complexos quelados, contribuindo para uma melhor síntese e disponibilidade dos minerais (ADEBO, et al., 2022).

Em estudo realizado com farinha de feijão mungo (*Vigna radiata*) fermentada, também foi relatado aumento no conteúdo dos minerais Ca, Fe, Mg e Zn (ONWURAFOR, et al., 2014). Já Granito et al. (2005) relataram uma diminuição significativa nos minerais Fe, Mg e Zn durante a fermentação natural e submersa de feijões (*Phaseolus vulgaris* e duas variedades de *Vigna sinensis*).

As farinhas fermentadas GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram redução significativa ($p < 0.05$) do pH (Tabela 3). GB_{CC} apresentou uma queda de 30,32 % e GB_{LC} 9,95% em comparação a GB_{C} . Isso demonstra que as cepas de *Lactobacillus* selecionadas são capazes de acidificar os grãos durante a fermentação, além de apresentarem elevada tolerância à acidez (WANG, et al., 2019). Portanto, a queda no pH é atribuída ao aumento de ácidos orgânicos como ácido acético, lático e butírico, produzidos durante a fermentação (XING, et al., 2020).

Tabela 03 – pH, acidez, parâmetros de cor croma (C^*) e índice de amarelecimento (YI^*) das amostras de farinhas de grão-de-bico não fermentado (GB_{C}), fermentado com co-cultura (GB_{CC}) e fermentado com *Lacticaseibacillus casei* (GB_{LC}).

pH, acidez e parâmetros de cor (C^* e YI)				
Amostra	pH	Acidez (%)	C^*	YI
GB_{C}	$6,5^{\text{a}} \pm 0,08$	$0,02^{\text{c}} \pm 0,01$	$27,25^{\text{a}} \pm 0,02$	$51,36^{\text{b}} \pm 0,03$

GB_{CC}	4,6^c± 0,00	2,09^a± 0,02	23,91^c ± 0,02	42,94^c ± 0,51
GB_{LC}	5,9^b± 0,03	1,19^b± 0,00	26,89^b ± 0,03	51,86^a ± 0,04

GB_C – Farinha de grão-de-bico não fermentado

GB_{CC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com co-cultura

GB_{LC} – Farinha de grão-de-bico fermentado com *Lacticaseibacillus casei*

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p > 0,05$).

Conforme esperado, houve um aumento significativo da acidez total das farinhas fermentadas GB_{CC} e GB_{LC} em comparação a farinha GB_C (Tabela 3). O aumento da acidez é de extrema importância para inibir a proliferação de microrganismos indesejáveis (WANG, et al., 2019; XING, et al., 2020).

Com relação ao impacto da fermentação na cor, as farinhas de grão-de-bico (GB_C, GB_{CC}, GB_{LC}) apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) para os valores de C* e YI. Para C* as amostras GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram redução dos valores em comparação a amostra controle GB_C, demonstrando uma menor intensidade de cor. No índice de amarelecimento (YI) as amostras GB_{CC} e GB_{LC} apresentaram comportamento diferentes em comparação GB_C. A farinha GB_{CC} apresentou redução de YI e GB_{LC} um aumento, indicando diferentes graus de amarelecimento das amostras após processamento. O amarelecimento está relacionado à degradação do produto por diferentes fatores como luz, exposição a produtos químicos e ao processamento. Índices de amarelecimento são utilizados principalmente para quantificar o grau geral de degradação das amostras (PATHARE, et al., 2012).

O tamanho das partículas das farinhas é um parâmetro importante que pode influenciar suas propriedades físico-químicas, como poder inchaço, solubilidade, clareza de pasta e capacidade de ligação à água, bem como, as características texturais dos produtos alimentícios que serão elaborados com essa matéria-prima (OLADEJI et al., 2012).

A distribuição do tamanho de partículas das farinhas de grão-de-bico fermentado e não fermentado é apresentada na Figura 2 (A, B e C).

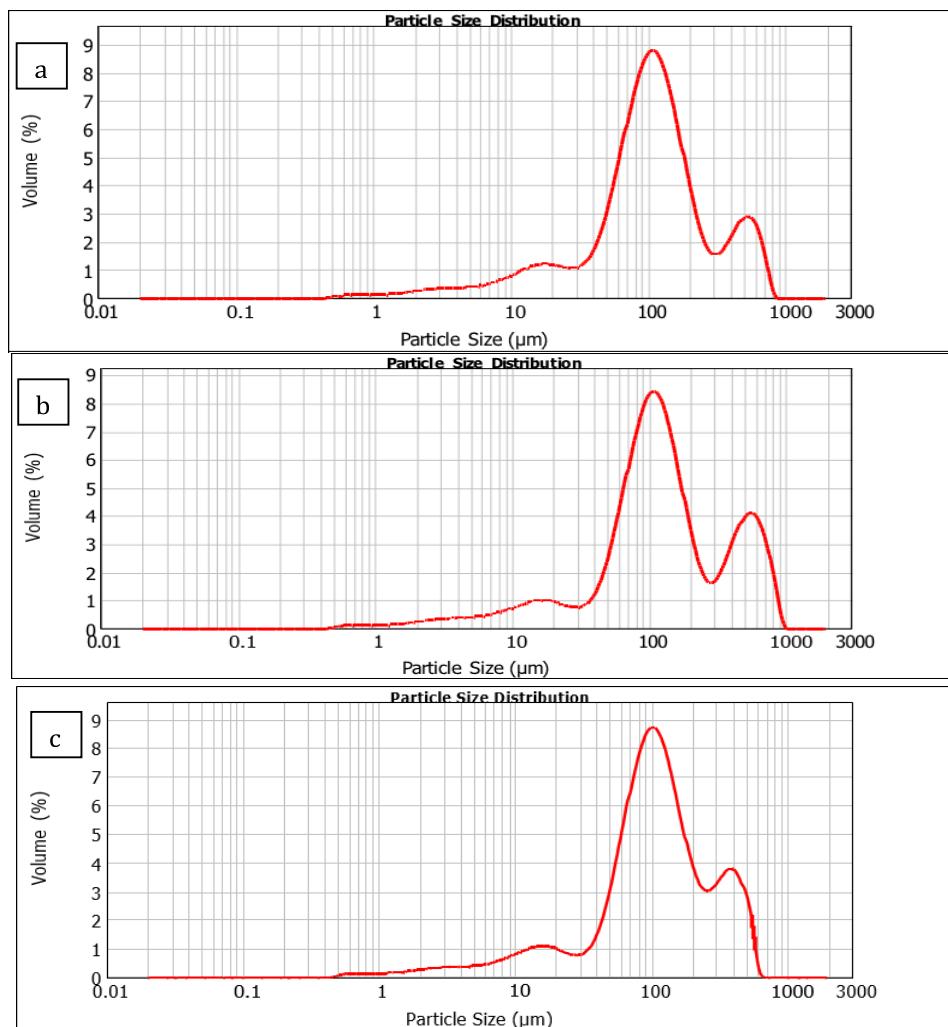


Figura 2. Distribuição de partículas das amostras de farinhas. A) Farinha GB_C, B) Farinha GB_{CC}, C) Farinha GB_{LC}

Na distribuição de partículas, o D10 o diâmetro máximo apresentado por 10% das partículas (μm); D50 o diâmetro máximo apresentado por 50% das partículas (μm) e D 90 o diâmetro máximo apresentado por 90% das partículas (μm). Os tamanhos de partículas a 10% (D.01), 50% (D.05) e 90% (D.09) na distribuição do volume de GB_C , GB_{CC} , GB_{LC} foram respectivamente 18.157 μm , 104.422 μm e 404.487 μm ; 20.258 μm , 115.015 μm e 538.444 μm ; 18.771 μm , 106.308 μm e 358.074 μm .

Ficou evidente pelos resultados que as amostras de GB_{CC} apresentaram tamanho maior em comparação com a GB_C . Comportamento similar foi reportado em trabalho de Angulo-Bejarano et al. (2008), no qual a farinha de grão de bico não fermentado apresentou menor tamanho de partícula do que a farinha de grão de bico fermentada com *Rhizopus oligosporus* a 34,9 °C por 51,3 horas. Os autores destacaram que o índice do tamanho de partícula (ITP) foi de 74,5%, enquanto que da farinha controle (grão de bico sem fermentação) foi de 63,4%. Desta forma pode-se sugerir que a fermentação com utilização de co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) exerceu maior efeito no tamanho das partículas, assim como maior aglomeração das partículas.

4. CONCLUSÃO

A utilização de bactérias ácido-láticas para o processo de fermentação e consequentemente produção das farinhas, apresentou aspectos positivos com destaque para a farinha de GB_{CC} que em sua caracterização físico-química, obteve aumento no teor de proteínas, fibras e de cinzas. Ambas as farinhas apresentaram redução na umidade, pH e aumento da acidez, apontando um aumento da estabilidade microbiológica. Os resultados deste estudo indicaram que a utilização da co-cultura para o processo de fermentação pode ser mais vantajosa, devido a propagação da sinergia entre microrganismos, produzindo maiores modificações bioquímicas do que a cultura individual. Portanto, a fermentação de

grão-de-bico a partir de bactérias ácido-láticas demonstrou ter potencial para a produção de farinhas com melhor qualidade nutricional, podendo ser utilizadas como ingredientes funcionais na produção de alimentos para a nutrição humana.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ (Processo: E-26/210.631/2019) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6. CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBIYI, J. A. et al. Evaluation of the nutritional and phytochemical quality of Dawadawa (an African fermented condiment) produced from Bambara groundnut (*Vigna underground*). *Microquímica J.* v. 149, p. 104-114, 2019.

ADEBIYI, J.A. et al. Fermented and malted millet products in Africa: Expedition from traditional/ethnic foods to industrial value-added products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, v. 58, p. 463–474, 2018.

ADEBO, O. A. et al. African sorghum-based fermented foods: Past, current and future prospects. *Nutrients*, v.12, p. 111-118, 2020.

ADEBOWALE, O. J. et al. Effect of fermentation period on the chemical composition and functional properties of Pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed flour. *International Food Research Journal*, v,18, p. 1329-1333, 2011.

ADHIKARI, B. M. et al. Physicochemical properties of fermented wheat-chickpea-rice weaning blend. *Nutrition Food & Science*. v. 43, p. 517–526, 2013.

AOAC. Association of official agricultural chemists. Official methods of analysis of the

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURE CHEMISTS. WASHINGTON: AOAC, 2000.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE AOAC. WASHINGTON DC: AOAC PRESS, 2010.

ANGULO-BEJARANO, P. I. et al. Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum L.*).

Nutritional and physicochemical properties. *Food Chemistry*, v. 106, p.106-112, 2008.

BARAMPAMA, Z. & SIMARD, R.E. Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, in- vitro starch digestibility and nutritive value of common beans. *Plant Foods Human Nutrition*, v. 48, p. 349–365, 1995.

BARBER, T.M.; KABISCH, S.; PFEIFFER, A.F.H.; WEICKERT, M.O. The Health Benefits of Dietary Fibre. *Nutrients*, v, 12, p. 3209-3220, 2020.

BLANDINO, A. Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*. v, 36, p.527–543, 2003.

BRASIL. Instrução Normativa/IN N° 75, de 08 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Resolução-RDC N° 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005.

CHAVES-LOPEZ, C. Traditional fermented foods and beverages from a microbiological and nutritional perspective: The Colombian Heritage. *Rev. Food Sci*, v, 13, p. 1031–1048, 2014.

CURIEL, J. A. et al. Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: The potential of sourdough fermentation. *International Journal Food Microbiology*, v.196, p.51-61, 2015.

ENUJIUGHA, V. N. O. Efeito da germinação nas propriedades funcionais da farinha de sementes de feijão africano (*Pentaclethra macrophylla Benth*). *Journal of. Food, Agriculture and Environment*. v.1, p. 72-75, 2003.

ESPINOSA-PÁEZ, E. Increase of antioxidant activity and protein digestibility in *Phaseolus vulgaris* and *Avenasativa* by fermentation with the fungus *Pleurotus ostreatus*. *Moléculas*. v.22, p. 22-27, 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de grão-de-bico, 2018

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Cereals, pulses, legumes and vegetable proteins. Rome, 2007.

FRANCO, G. Tabela de composição química dos alimentos. 9. ed. São Paulo: Atheneu. 307p. 1999.

GRANITO, M. et al. Influência da fermentação no valor nutricional de duas variedades de *Vigna sinensis*. *European Food Research and Technology*. v. 220, p. 176- 181, 2005.

GUNDOGAN, R. & KARACA, A. C. Physicochemical and functional properties of proteins isolated from local beans of Turkey. *LWT - Food Science and Technology*, v. 130, p. 1-9, 2020.

IRITI, M. & VARONI, E. M. Pulses, Healthy, and Sustainable Food Sources for Feeding the Planet. *International Journal of Molecular Sciences*. v. 18, p.255, 2017.

INSTITUTE OF MEDICINE (IOM). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). Washington, DC: National Academic Press. 2005.

INSTITUTE OF MEDICINE (IOM). Dietary Reference Intakes (DRIs): Estimated Average Requirements. Washington, DC: National Academic Press. 2011.

KLONGKLAEW, A. Fermentation strategy based on lactic acid bacteria to improve the phenolic bioactive functional qualities of selected chickpea (*Cicer arietinum L.*), v. 27, p.36-46, 2022.

KUMITCH, H.M. The Effect of Solid-State Fermentation on Air-Classified Pea Protein-

Enriched Flour to Improve the Digestibility and Functional Properties. Master's Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 2019.

KUMITCH, H.M. et al. Effect of fermentation time on the nutritional properties of pea protein-enriched flour fermented by *Aspergillus oryzae* and *Aspergillus niger*. *Cereal Chem.* v. 97, p.104–113, 2020.

LI, S.; ZIYI, J.; DIANJIE, H.; WENWEN Y.; YONGYONG, Y.; XIAOBAO, N.; JING, L.; QINGYU, Z.; DI, G.; YUXIANG, J.; XIAOMING, C. Effect of solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* on the nutritionalvalue, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour, v. 125, p.111-145, 2020.

LI, W.; WANG, T. Effect of solid-state fermentation with *Bacillus subtilis*wo on the proteolysis and antioxidant properties of chickpeas. *International Journal of Food Microbiology*, v.3, 2021.

MALUNGA, L. N.; BAR-EL, S. D.; ZINAL, E.; BERKOVICH, Z.; ABBO, S.; REIFEN, R. The potential use of chickpeas in infant follow-up formula development. *Revista Nutricional*, v.13, 2014.

MERGA, B.; HAJI, J. Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, v. 5, n. 1, p. 615-618, 2019.

ODEY, G. N.; LEE, W. Y. Evaluation of the Quality Characteristics of Flour and Dough from Fermented Cassava Roots. *International Journal of Food Science and Technology*. v, 55, p.123- 132, 2019.

ONWURAFOR, E. U.; ONWELUZO, J. C.; EZEOKOKE, A. M. 2014. Effect of fermentation methods on chemical and microbial properties of mung bean (*Vigna radiata*) flour. *Niger. Food J.* v. 32, p.89-96, 2014.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol*, v. 6, p. 36-60, 2013

QINHUI, X.; SUSANNE, D.; KONSTANTINA, K.; REMKO, M. B.; SMID, E. J.; SCHUTYSER, M. A. I. Enhanced nutritional value of chickpea protein concentrate by dry separation and solid state fermentation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.59, 2020.

REYES-BASTIDAS. M.; REYES-FERNANDEZ, E.Z.; LOPEZ-CERVANTES, J.; MILAN-CARRILLO., LOARCA-PIN, G.F.; REYES-MORENO, C. Physicochemical, Nutritional and Antioxidant Properties of Tempeh Flour from Common Bean (*Phaseolus vulgaris*L.). *Food Sci Tech Int*, v.16, p.1-8, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J; SAURACALIXTO, F. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 121, p. 996-1002, 2010.

WANG, S.; DONG, Z.; Li, J.; CHEN, L.; SHAO, T. *Pediococcus acidilactici* strains as silage inoculants for improving the fermentation quality, nutritive value and *in vitro* ruminal digestibility in different forages. *Journal of Applied Microbiology*, v. 126, p.424-434, 2019.

WOH. WORLD HEALTH ORGANIZATION. DIET, NUTRITION AND THE PREVENTION OF CHRONIC DISEASES: REPORT OF A JOINT WHO/FAO EXPERT CONSULTATION. GENEVA: WHO; 2003.

SLAVIN J. L. Position of the American Dietetic Association: Health Implications of Dietary Fiber. *J Am Diet Assoc*, v. 108, n. 10, p. 1716- 1731, 2008.

SINGH, P.; PRASAD, S.; ALBERSBERG, W. Bioavailability of Fe and Zn in selected legumes, cereals, meat and milk products consumed in Fiji. *Food Chem*. v.7, p.125-131, 2016.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolics constituents of prunus domestica. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.10, n.1, p.63-68, 1959.

OLADEJI, B. S.; IRINKOYENIKAN, O. A.; AKANBI, C. T.; GBADAMOSI, S. O. Effect of fermentation on the physicochemical properties, pasting profile and sensory scores of normal endosperm maize and quality protein maize flours. *International Food Research Journal*, v. 25, n.3, p.1100-1108, (2018).

WOOD, J. A.; GRUSAK, M. A. Valor nutricional do grão-de-bico. *Criação e Manejo de Grão-de-Bico*, v.3 p. 101-142, 2007.

XU, L. N., GUO, S.; ZHANG, S. W. Effects of solid-state fermentation on the nutritional components and antioxidant properties from quinoa. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v. 31, p 39-45, 2019.

CAPÍTULO IV

Tecno-funcionalidades, capacidade antioxidante, propriedades físico-químicas e nutricionais de farinha de feijão-caupi fermentada por *Lacticaseibacillus casei* ou por co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*)

Amanda Fulgoni da Cunha Estanech

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Antonio Renato Bigansolli

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ
E-mail: bigansolli.arb@gmail.com

José Lucena Barbosa Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Manuscrito em preparação para ser enviado a Revista *Fermentation*

(Qualis Capes A3)

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma importante fonte de proteína, aminoácidos essenciais e fibras. A produção de farinha de leguminosas estão em crescente produção e consumo, devido ao seu alto valor nutricional. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da fermentação com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura nas propriedades tecnofuncionais, antioxidantes e físico-químicas em farinha de feijão-caupi (FC). O FC foi fermentado a 28 °C por 96 h com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura, resultando nas amostras FC_{LC} e FC_{CC}, respectivamente, e em seguida foi submetido a secagem a 50 °C por 5 h e moído para obtenção das farinhas. O feijão-caupi não-fermentado (FC_C) foi utilizado como controle. A fermentação aumentou ($p < 0.05$) os parâmetros de cor (a* e b*) de FC_{CC} e de FC_{LC}. Para avaliação das tecno-funcionalidades, no IAO, FC_{CC} apresentou uma redução ($p < 0.05$) de 2,73%. Na CE (%), FC_{CC} foi cerca de 35% menor ($p < 0.05$) em comparação à farinha FC_C e a FC_{LC}. E na EE FC_{CC} reduziu em comparação a FC_C e FC_{LC}. No PI não houve diferença significativa ($p > 0.05$) e no ISA houve um aumento para FC_{LC} a 70°C e uma redução para FC_{CC} a 50, 60 e 90 °C. As FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram uma redução significativa de 11% e 12%, respectivamente para DPPH e cerca de 6% e 4% para FRAP e aumento do teor de fenólicos totais em ambas as farinhas fermentadas. Na avaliação físico-químicas FC_{CC} reduziu a umidade em 66 %, aumentando o teor de proteína em torno de 10%. Ambas as amostras, FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram aumento no teor de lipídeos e redução significativa do % cinzas ($p < 0.05$) e nos teores de ferro, manganês e cálcio, FC_{CC} e FC_{LC}. A farinha FC_{CC} apresentou menor Aw ($p < 0.05$), o mesmo não foi observado para FC_{LC} que apresentou um aumento significativo em comparação a FC_C e FC_{CC}. Uma redução significativa ($p < 0,05$) do pH e aumento no teor de acidez foi observado para FC_{CC} e FC_{LC}, melhorando a estabilidade microbiológica das farinhas produzidas. Na distribuição de partículas das farinhas observou-se que as amostras de FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram tamanho de partículas ligeiramente maior, somente a 10% (d.01) em comparação com a FC_C.

Palavras-chave: Leguminosas, bactérias ácido-láticas, fermentação, bioprocessamento.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata*) is an important source of protein, essential amino acids and fiber. Legume flour production and consumption are increasing due to their high nutritional value. The objective of the present work was to evaluate the effect of fermentation with *Lacticaseibacillus casei* or co-culture on the techno-functional, antioxidant and physico-chemical properties of cowpea flour (CF). The FC was fermented at 28 °C for 96 h with *Lacticaseibacillus casei* or co-culture, resulting in the FC_{LC} and FC_{CC} samples, respectively, dried at 50 °C and ground to obtain flour. Unfermented cowpea (FC_C) was used as a control. Fermentation increased ($p < 0.05$) the color parameters (a^* and b^*) of FC_{CC} and FC_{LC}. To evaluate techno-functionalities, in IAO, FC_{CC} showed a reduction ($p < 0.05$) of 2.73%. In CE (%), FC_{CC} was about 35% lower ($p < 0.05$) compared to FC_C and FC_{LC} flour and in EE FC_{CC} reduced compared to FC_C and FC_{LC}. In PI there was no significant difference ($p > 0.05$) and in ISA there was an increase for FC_{LC} at 70°C and a reduction for FC_{CC} at 50, 60 and 90 °C. FC_{CC} and FC_{LC} showed a significant reduction of 11% and 12 %, respectively for DPPH and around 6% and 4% for FRAP and increased total phenolic content in both fermented flours. In the FC_{CC} physical-chemical evaluation, it reduced humidity by 66%, increasing the protein content by around 10%. Both samples, FC_{CC} and FC_{LC}, showed an increase in lipid content and a reduction in ash ($p < 0.05$). in iron, manganese and calcium contents, FC_{CC} and FC_{LC} showed a significant reduction ($p < 0.05$). FC_{CC} flours showed lower Aw ($p < 0.05$), the same was not observed for FC_{LC} which showed a significant increase compared to FC_C and FC_{CC}. A significant reduction ($p < 0.05$) in pH and increase in acidity content was observed for FC_{CC} and FC_{LC}, improving the microbiological stability of the flours produced. In the distribution of flour particles, it was observed that the FC_{CC} and FC_{LC} samples presented slightly larger particle sizes, only 10% (d.01) compared to the FC_C.

Keywords: Legumes, lactic acid bacteria, fermentation, bioprocessing

1. INTRODUÇÃO

Leguminosas, incluindo o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), são consumidos desde as mais remotas práticas da agricultura e apresentam empregos nutricionais, culturais e medicinais (PHILLIPS & MCWATTERS, 1991). São importantes componentes da dieta de países em desenvolvimento da África, América do Sul e Ásia, onde são especialmente valiosos como fontes de proteína para complementar cereais, raízes e tubérculos, além de apresentar um alto potencial para geração de emprego e renda (AMJAD et al., 2013; OLIVEIRA, 2020).

O feijão-caupi é uma excelente fonte de proteína, apresenta em sua composição em torno de 25% de proteína, 0,7% a 3,5% de ácidos graxos insaturados, alto teor de fibras, vitaminas e minerais e possui um perfil de aminoácidos característico das leguminosas, ricas em lisina e com baixas teores de aminoácidos sulfurados (FREITAS et al., 2022).

Diferente das proteínas de cereais que geralmente são deficientes em aminoácidos essenciais, como a lisina. O elevado teor de lisina (486 mg/g) faz do feijão-caupi um excelente potencializador da qualidade proteica. De acordo com McWatters et al. (2003), o feijão-caupi é uma leguminosa que a partir dos grãos, facilmente se obtém uma farinha que pode ser misturada com farinha de trigo ou até mesmo serem utilizadas em substituição ao trigo. Quando misturado com farinhas de cereais, produz misturas com excelente composição de aminoácidos, além de melhorar a qualidade nutricional geral da farinha (AMJAD et al., 2013; GONÇALVES et al., 2020)

Apesar do seu elevado teor de proteínas, o uso do feijão-caupi como fonte alimentar não tem sido explorado em todo o seu potencial, em especial nos países industrializados, principalmente devido a presença de fatores antinutricionais, como os oligossacarídeos (rafinose e estaquiose), que podem ser hidrolisados por micro-organismos anaeróbios intestinais e produzir flatulência ou gases intestinais, além de reduzirem a biodisponibilidade de proteínas e minerais (PRINYAWIWATKUL et al., 1996; GONÇALVES et al., 2020).

Diversos pesquisadores têm estudado e se reportado sobre a qualidade nutricional do feijão-caupi e a influência de diferentes métodos de processamento na sua qualidade tecnológica e nutricional. Nesse contexto, a fermentação com bactérias ácido-láticas tem demonstrado não apenas melhorar a qualidade nutricional, aumentando o teor de proteína, mas também reduzindo os fatores indesejáveis. A fermentação de leguminosas também é capaz de aumentar o teor de vitaminas enriquecendo o valor nutricional do produto final (KUMITCH, 2019).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar as alterações nas propriedades tecno-funcionais, antioxidantes, físico-químicas e nutricionais e farinha de feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

O feijão-caupi e a co-cultura comercial (*Lactobacillus acidophilus* LA5[®] – 6 log UFC g⁻¹; *Bifidobacterium* BB12[®] – 6 log UFC g⁻¹; *Streptococcus thermophilus* – 6 log UFC g⁻¹) (BioRich, Chr. Hansen, Valinhos, São Paulo, Brasil) foram adquiridos em comércio local do município de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. A cultura liofilizada de *Lacticaseibacillus casei* (Lyofast BGP93) foi cedida pela empresa SACCO Brasil (São Paulo, Brasil).

2.2 Preparo das farinhas de feijão-caupi fermentadas com *Lactobacillus casei* ou com co-cultura

O feijão-caupi (FC) foi lavado em água corrente e submerso em água destilada durante 12 h, na proporção de 500 g de FC para 2 litros de água destilada (Figura 1). Em seguida, a água foi descartada e substituída usando uma proporção de 1:1 (FC:água), e submetido ao processo de esterilização em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após esta etapa, o FC foi resfriado até a temperatura ambiente (25 °C) durante 5 h. Após esta etapa, o FC foi separado em 2 porções de 100 g, a primeira porção adicionou-se *Lacticaseibacillus casei* (FC_{LC}) na concentração de 0,2 g L⁻¹ (9 log UFC g⁻¹), conforme as especificações do fabricante enquanto que a segunda porção, foi adicionada a co-cultura comercial (FC_{CC}) na concentração de 0,4 g L⁻¹, seguindo também as especificações recomendadas pelo fabricante. As amostras de FC_{LC} e FC_{CC} foram submetidas a fermentação em método submerso em estufa a 28 °C por 96 h, seguindo a metodologia proposta por XIAO et al. (2015), onde o grão-de-bico esterilizado e não fermentado (GB_C) foi utilizado como controle. Em seguida, os grãos fermentados (FC_{LC} e FC_{CC}) e não fermentados (FC_C) foram prensados em tecido estéril de poliéster para remoção do excesso de água.

Para a produção das farinhas (Figura 1), os grãos fermentados (FC_{LC} e FC_{CC}) e o controle foram submetidos à secagem em secador (Microventilador E15CD) a 50 °C até a obtenção do peso constante (após 5 h de secagem). Os grãos fermentados e secos foram moídos em moinho de facas por 40 segundos (IKA A11BS032, Staufen, Alemanha), peneirados por peneira com abertura de 710 µm, obtendo-se 3 farinhas: FC_{LC} (FC fermentado com

Lacticaseibacillus casei), FC_{CC} (FC fermentado com co-cultura) e FC_C (amostra controle – não fermentada). As farinhas obtidas foram armazenadas em frascos de vidro hermeticamente fechados durante e acondicionados sob refrigeração a 4 °C e protegidas da luz.

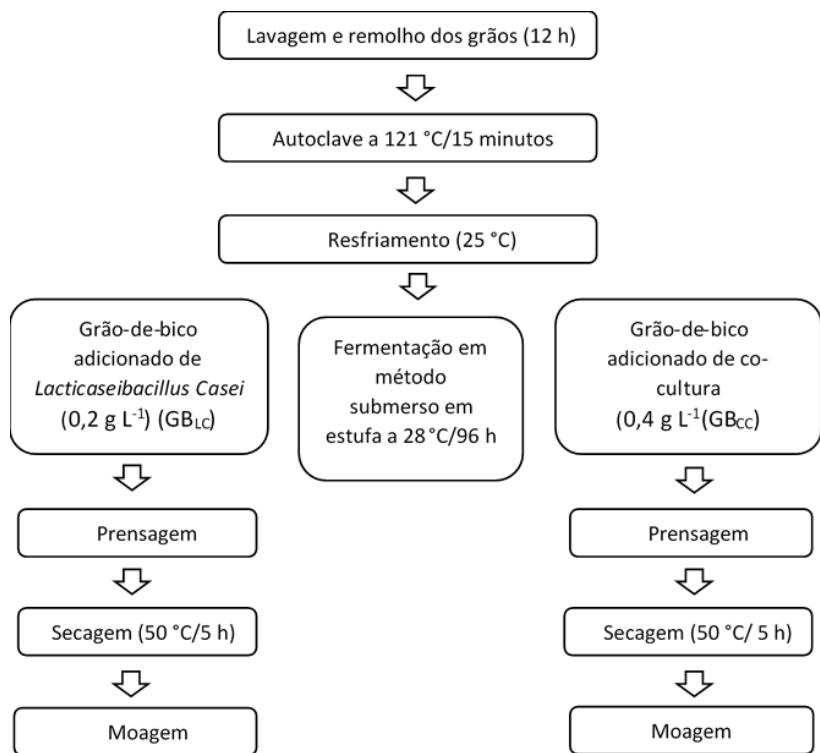


Figura 1. Fluxograma dos procedimentos para fermentação do feijão-caupi e produção das farinhas.

2.3 Análise instrumental de cor e atividade de água das farinhas de feijão-caupi

A análise instrumental de cor das farinhas estudadas foi determinada utilizando o colorímetro MiniScan EZ 4500L (HunterLab, Virginia, USA) foram determinados os parâmetros CIELab L*, a* e b* da cor e os valores de diferença total da cor (ΔE) para FC_{CC} e FC_{LC} em comparação a FC_C. Os parâmetros L*, a* e b* e o ΔE foram estudados de acordo com a metodologia de CHEKDID et al., 2021 e Equação 1. Para Chroma (C*) foi utilizada a Equação 2 (Pathare, et al., 2012).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (\text{Equação 1})$$

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

2.4 Propriedades tecno-funcionais das farinhas de feijão-caupi

Para determinação do índice de absorção de óleo (IAO) das amostras das farinhas (FC_{LC}, FC_{CC} e FC_C) foi utilizada a metodologia segundo POIANI & MONTANUCI (2019), na qual a amostra (2 g) foi misturada a 13 mL de óleo de milho comercial homogeneizadas utilizando-se vórtex a 100 rpm por 30 minutos a 25 °C, e em seguida, submetidas à centrifugação a 3.000 rpm por 20 minutos. Os sobrenadantes foram descartados, e os sedimentos oleosos foram pesados.

A capacidade emulsificante (CE) (%) e a estabilidade da emulsão (EE) (%) das amostras de farinhas (FC_{LC}, FC_{CC} e FC_C) foram determinadas segundo YASUMATSU et al. (1972). A amostra (3,75 g) foi misturada a 25 mL de água destilada e 25 mL de óleo de milho. Em seguida, as misturas foram emulsionadas usando um agitador de vara a 10.000 rpm por 10 minutos (Model 936 Drink Mixer, Scovill, USA). As emulsões obtidas foram distribuídas em tubos de centrífugas (15 mL) e centrifugadas a 3.000 rpm por 10 minutos. Em seguida, as emulsões foram aquecidas a 80 °C por 30 minutos em banho-maria com agitação e centrifugadas a 3.000 rpm por 10 minutos novamente. A CE (%) foi determinada utilizando-se a Equação 3.

$$CE (\%) = \left(\frac{CAE}{CAT} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: CAE é a camada emulsificada (mL) e CAT é a camada total (mL).

Após, as emulsões foram aquecidas a 80 °C por 30 minutos em banho-maria e centrifugadas a 3.000 rpm por 10 minutos novamente. EE foi calculado de acordo com a Equação 4.

$$EE (\%) = \left(\frac{CAER}{CAE} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: CAER é a camada emulsificada restante (mL) e CAE é a camada emulsificada (mL)

O poder de inchamento (PI) e o índice de solubilidade em água (ISA) das farinhas FC_{LC}, FC_{CC} e FC_C foram determinadas segundo KUSUMAYANTI et al. (2015), com pequenas modificações. As amostras (0,1 g) foram dispersadas em 10 mL de água destilada em tubos de centrífuga pré-pesados. A mistura foi homogeneizada e aquecida em banho-maria a diferentes temperaturas (25°C, 50°C, 60 °C, 70°C, 80°C e 90°C) por 30 minutos e centrifugada a 3.000 rpm por 20 min. O sobrenadante foi coletado, pesado e seco em estufa a 105 °C por 24 h. PI e ISA foram calculados utilizando-se as Equações 5 e 6, respectivamente.

$$PI (g/g) = \left(\frac{PRC}{PA} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

$$ISA (\%) = \left(\frac{PSS}{PA} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: PRC é o peso sobrenadante, após centrifugação, PA é o peso da amostra e PSS é o peso sobrenadante seco.

2.5 Capacidade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos totais das farinhas estudadas

Para determinação da capacidade antioxidante das farinhas, foram preparados extratos utilizando 2 g da amostra e 20 mL de uma solução metabólica 70% v/v. A mistura foi homogeneizada e mantida em agitação por 12 h com agitação a 100 rpm. Os extratos foram filtrados e armazenados sob refrigeração (4 °C). O ensaio de sequestro de radicais por DPPH foi baseado na metodologia descrita por RUFINO et al. (2010). O Trolox foi utilizado para construir uma curva padrão (5µg/mL a 70µg/mL). 150 µL de extratos foram adicionados a 2,85 mL de solução de DPPH e deixados reagir por 1 h. As absorbâncias foram lidas em 517 nm em espectrofotômetro. A capacidade antioxidante das farinhas estudadas foi determinada pelo método de redução do ferro (FRAP) de acordo com THAIPONG et al. (2006) e como referência foi utilizado o antioxidante padrão (Trolox). 90 µL de extratos foram adicionados a 270 µL de água destilada, 2,7 mL de reagente FRAP e 2,5 mL de uma solução aquosa 20 mM de cloreto férrego. As misturas foram incubadas a 37°C com agitação por 30 minutos e resfriadas. As absorbâncias foram lidas em 595 nm em espectrofotômetro. Os teores de compostos fenólicos totais foram determinados pelo método de RUFINO et al. (2010), com pequenas modificações e o ácido gálico foi utilizado como referência para construção da curva padrão. O ácido gálico foi usado como referência para criar uma curva padrão. 1 mL dos extratos foram adicionados a 1 mL de solução aquosa de Folin-Ciocalteau (1:10), 1 mL de metanol 70% e 1 mL de solução aquosa de Na₂CO₃. As misturas foram deixadas em repouso por 2 h, em ambiente sem luminosidade (escuro). As absorbâncias foram lidas a 725 nm com um espectrofotômetro e os conteúdos fenólicos totais foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg GAE/g).

2.6 Caracterização físico-química

Os teores de umidade, proteínas, lipídios, cinzas e amido foram determinados seguindo metodologias preconizadas por AOAC (2012). O teor de carboidratos não amiláceos (CNA) + fibras totais (FT) foi determinado por diferença, conforme Equação 7. Os resultados foram expressos em %.

$$\text{CNA} + \text{FT} = 100 - (\text{umidade} + \text{proteínas} + \text{lipídeos} + \text{cinzas} + \text{amido}) \quad (\text{Equação 7})$$

2.7 Perfil de minerais

As determinações dos minerais foram realizadas de acordo com os métodos da AOAC (2000). A quantificação dos minerais foi realizada em espectrofotômetro de emissão de plasma, sendo a determinação realizada por espectrometria de emissão atômica, depois de uma digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico.

2.8 pH, acidez titulável e atividade de água (Aw)

O pH foi determinado usando um pHmetro digital (Starter 2100, Ohaus, Barueri, Brasil). Acidez titulável foi determinado usando uma solução de hidróxido de sódio (0,1 N) (AOAC, 2012). A atividade de água (Aw) foi determinada utilizando-se um higrômetro de ponto de orvalho digital (Aqualab CX2, Decagon Devices Inc., USA).

2.9 Distribuição do tamanho das partículas

A distribuição do tamanho das partículas das farinhas de feijão-caupi (FC_{LC}, FC_{CC} e FC_C) foram determinadas por difração a laser. O índice de refração foi de 1,49429 e o índice de absorção foi de 0,1. O parâmetro medido foi a distribuição percentual do volume das partículas em função do tamanho de partícula em μm (MONNET, et al., 2019).

2.10 Análise estatística

As análises do presente estudo foram realizadas em triplicata. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. Os dados foram analisados utilizando-se o software STATISTICA 7®. Foi realizada a análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey e considerado nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades de cor dos ingredientes alimentícios são fundamentais para aceitação sensorial dos produtos, e no caso das farinhas fermentadas de feijão-caupi, verificou-se que sua coloração final foi afetada pela fermentação (Tabela1).

Tabela 1 – Parâmetros de cor (L^* , a^* e b^*), croma (C^*) e diferença total de cor (ΔE) das amostras de farinhas das amostras de farinhas (FC_C, FC_{CC} e FC_{LC}).

Parâmetros cor (L^* , a^* e b^*), croma (C^*) e ΔE^*					
Amostra	L^*	a^*	b^*	C^*	ΔE^*
FC _C	58,5 ^a ± 0,02	2,9 ^b ± 0,02	15,1 ^b ± 0,02	15,3 ^c ± 0,15	-
FC _{CC}	58,9 ^a ± 0,06	3,5 ^a ± 0,04	16,8 ^a ± 0,05	16,7 ^b ± 0,02	1,9 ^a ± 0,05
FC _{LC}	57,6 ^b ± 0,10	3,3 ^a ± 0,03	16,4 ^a ± 0,02	26,9 ^a ± 0,03	1,6 ^b ± 0,10

FC_C - Farinhas de feijão-caupi não fermentado

FC_{CC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com co-cultura

FC_{LC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei*

L^* - Luminosidade

a^* e b^* - Coordenadas cromáticas

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0.05$).

Na farinha FC_{LC}, a Luminosidade (L^*) reduziu ($p < 0.05$) em comparação às outras amostras (Tabela 1), sinalizando que a cor da amostra ficou escura, em comparação a farinha controle e a FC_C (Tabela 1), sugerindo que a fermentação com *Lacticaseibacillus casei* escureceu ligeiramente a amostra (Tabela 1). Com relação aos demais parâmetros da cor, observou-se que a fermentação promoveu o aumento do parâmetro a^* e b^* para as farinhas FC_{CC} e FC_{LC} (Tabela 1), sinalizando que o processamento do feijão como a fermentação e secagem foram capazes de produzir alterações nas cores das farinhas.

As alterações observadas nos parâmetros L^* , a^* e b^* da cor observadas nas farinhas estudadas impactaram no Croma (C^*) e na diferença total da cor (ΔE), sendo que as amostras de farinha FC_{LC} foram mais afetadas que a controle (Tabela 1). Apesar da diferença do ΔE apresentadas pelas farinhas fermentadas (Tabela 1), pode-se considerar que as mudanças de cor não foram perceptíveis pelo olho humano, pois de acordo com Witzel et al. (1973), isso só ocorre para valores de ΔE superiores a 5. As farinhas de feijão-caupi (FC_C, FC_{CC}, FC_{LC}) apresentaram diferenças significativas ($p < 0.05$) para os valores de C^* e ΔE (PATHARE, et al., 2012).

Para avaliação das tecno-funcionalidades das farinhas estudadas, foram analisadas o IAO, a CE, a EE, além do PI e o ISA (Tabela 2 e Figura 2 A e B).

Tabela 2 – Índice de absorção de óleo (IAO), capacidade emulsificante (CE) e estabilidade de emulsão (EE) das amostras de farinhas de feijão-caupi (FC_C, FC_{CC} e FC_{LC}).

Amostra	IAO (g/g)	CE (%)	EE (%)
FC_C	4,4 ^a ± 0,04	90,0 ^a ± 0,04	90,0 ^a ± 0,02
FC_{CC}	4,3 ^b ± 0,05	58,3 ^b ± 3,02	60,0 ^b ± 0,06
FC_{LC}	4,3 ^a ± 0,01	90,0 ^a ± 0,05	90,0 ^a ± 0,03

FC_C - Farinhas de feijão-caipi não fermentado

FC_{CC} - Farinhas de feijão-caipi fermentado com co-cultura

FC_{LC} - Farinhas de feijão-caipi fermentado com *lacticaseibacillus casei*

IAO – Índice de absorção em óleo

CE – Capacidade emulsificante

EE – Estabilidade da emulsão

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0.05$)

No IAO das farinhas estudadas, somente FC_{CC} apresentou uma diferença significativa ($p < 0.05$), FC_C apresentou uma redução de 2,73% em comparação a FC_C (Tabela 2). A CE (%) da farinha FC_{CC} foi cerca de 35% menor ($p < 0.05$) em comparação à farinha FC_C e a FC_{LC} (Tabela 2). Também foi observada a redução nos valores de EE (%) das farinhas de FC_{CC} em comparação a FC_C e FC_{LC}, apresentando diferença significativa entre elas ($p < 0.05$). A CE (%) é definida como o volume de óleo que pode ser emulsionado pela proteína ou peptídeos presentes nas farinhas antes que a inversão de fase ou colapso da emulsão ocorra (ARTEAGA et al., 2020), enquanto que a EE (%) é um importante parâmetro tecnológico, uma vez que está ligada à prevenção da coalescência das gotículas de óleo, floculação e formação de creme (ENUJIUGHHA, et al., 2003).

O poder de inchamento (PI) e o índice de solubilidade (ISA) dependem do arranjo das moléculas de amilose e amilopectina nos grânulos de amido. Estes parâmetros variam de acordo com a fonte do amido, fornecendo evidências da interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfos e cristalinos (SINGH et al., 2003). No PI e ISA (Figura 2, A e B) observou-se diferença significativa ($p < 0.05$) somente para o ISA. As amostras FC_{CC} apresentou uma redução a 50, 60 e 90°C e FC_{LC} redução a 25°C e um aumento a 70°C.

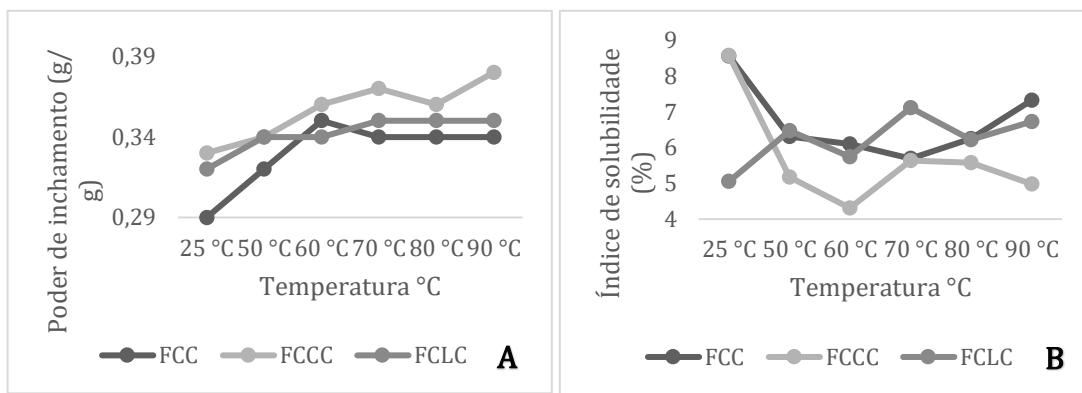


Figura 2. Poder de inchamento (PI) (A) e índice de solubilidade em água (ISA) (B) das amostras de farinhas de feijão-caupi não fermentado (FC_C), fermentado com co-cultura (FC_{CC}) e fermentado com *lacticaseibacillus casei* (FC_{LC}).

Ronko, et al. (2021) observaram 12,3% do ISA a 90 °C em farinhas de feijão-caupi. O presente estudo obteve menores valores, 7,32; 4,98; e 6,72% para FC_C, FC_{CC} e FC_{LC} a 90 °C. Também foi observado por Ronko, et al. (2021) que os amidos de feijão apresentaram menores valores para poder de inchamento e solubilidade na temperatura de 60 °C, os autores atribuíram esse comportamento à temperatura de 60 °C que não foi capaz de atingir completa gelatinização dos amidos de feijão.

Na capacidade antioxidante em ambas as técnicas aplicadas (DPPH e FRAP) observou-se diferenças significativas ($p < 0.05$). As amostras de FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram uma redução significativa de 11% e 12% para DPPH e cerca de 6% e 4% para FRAP, em comparação à amostra controle (FC_C) (Tabela 3). A redução da capacidade antioxidante em ambas as técnicas aplicadas (DPPH e FRAP) após o processo de fermentação por 96h pode ter ocorrido devido à destruição de compostos fenólicos durante o processo de fermentação aplicado, o tempo de fermentação e as cepas selecionadas podem ter influenciado na capacidade antioxidante das farinhas fermentadas (GARRIDO-GALAND, et al., 2021).

Para o teor de compostos fenólicos totais, observou-se um aumento significativo ($p < 0.05$) na farinha FC_{CC} (29%) e FC_{LC} (15%) em comparação a FC_C (Tabela 3). Uma maior liberação de compostos fenólicos da parede celular do vegetal, devido ao aumento da atividade das enzimas proteases, pode ter ocorrido durante o processo de fermentação (GARRIDO-GALAND, et al., 2021).

Tabela 3 – Capacidade antioxidante (DPPH, FRAP e compostos fenólicos totais) das amostras de farinhas de feijão-caupi não fermentado (GBC,), fermentado com co-cultura (GBCC) e fermentado com *Lacticaseibacillus casei* (GBLC).

Capacidade antioxidante das farinhas de FC_C, FC_{CC}, FC_{LC}			
Amostra	DPPH (μ mol TE/g)	FRAP (μ mol TE/g)	Fenólicos totais (mg GAE/g)
FC_C	102,4 ^a ± 0,03	64,0 ^a ± 0,06	7,5 ^a ± 0,00
FC_{CC}	91,4 ^{bc} ± 0,03	60,2 ^b ± 0,04	9,7 ^b ± 0,02
FC_{LC}	90,5 ^c ± 0,00	61,5 ^b ± 0,04	8,7 ^c ± 0,02

FC_C - Farinhas de feijão-caupi não fermentado

FC_{CC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com co-cultura

FC_{LC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com *lacticaseibacillus casei*

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p < 0,05).

O efeito da fermentação sobre as propriedades físico-químicas das farinhas produzidas a partir do feijão-caupi fermentado está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização físico-química das amostras de farinhas (FC_C, FC_{CM}, FC_{LC})

Caracterização físico-química das farinhas* (g/100g)			
	FC_C	FC_{CC}	FC_{LC}
Umidade	5,35 ^a ± 0,18	1,85 ^b ± 0,10	4,83 ^a ± 0,33
Proteína	25,0 ^a ± 1,60	27,33 ^b ± 1,49	25,66 ^a ± 2,39
Lipídeos	2,27 ^a ± 0,09	4,39 ^b ± 0,34	4,19 ^b ± 0,13
Amido	29,32 ^a ± 2,94	26,86 ^b ± 1,92	27,11 ^b ± 2,39
CNA+FT	35,86 ^a ± 2,01	37,6 ^b ± 0,87	36,42 ^a ± 1,94
Cinzas	2,20 ^a ± 0,05	1,97 ^b ± 0,09	1,79 ^b ± 0,04

FC_C - Farinhas de feijão-caupi não fermentado

FC_{CC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com co-cultura

FC_{LC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com *lacticaseibacillus casei*

CNA – Carboidratos não-amiláceos

FT – Fibras totais

*Componentes em base seca (%)

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p < 0,05).

O teor de umidade das farinhas de feijão-caupi fermentado (FC_{CC}) foi significativamente diferente ($p < 0.05$) em comparação a amostra controle (FC_C). A farinha de FC_{CC} apresentou uma redução em torno de 66 % em comparação a FC_C. FC_{LC} não apresentou diferença significativa ($p < 0.05$) para FC_C.

Na farinha de feijão-caupi fermentado com co-cultura (FC_{CC}) observou-se diferença significativa ($p < 0.05$) no teor de proteínas, com um aumento em torno de 10% em comparação a farinha de feijão-caupi não fermentado (FC_C), o mesmo não foi observado para a farinha de feijão-caupi fermentado com *Lacticaseibacillus casei* (FC_{LC}), não houve diferença significativa para FC_C. O consumo da porção (50g) das farinhas de feijão-caupi fermentado (FC_{CC} e FC_{LC}) fornece respectivamente, 13,7 g e 11,8 g de proteínas. A *Recommended Dietary Allowances* (RDA) refere-se à ingestão dietética diária recomendada para indivíduos. A RDA de proteínas para homens e mulheres acima de 18 anos de idade é de 0,8g/kg/dia de proteína de qualidade (IOM, 2005).

Outra mudança encontrada nas farinhas produzidas a partir do feijão-caupi fermentado foi um aumento no teor de lipídeos observado na farinha de FC_{CC} e FC_{LC} que aumentou significativamente ($p < 0.05$) em relação a FC_C. O Institute of Medicine (IOM, 2005) recomenda que a distribuição dos macronutrientes na dieta pode variar entre 10-35% de proteína, 20-35% de lipídios e 45-65% de carboidratos baseado em uma dieta de 2000 kcal/dia. O consumo da porção (50g) das farinhas de feijão-caupi fermentado (FC_{CC} e FC_{LC}) fornece respectivamente, 2,2 g e 2,0 g de lipídios (IOM, 2005).

Não foram observadas alterações significativas no teor de carboidrato não amiláceos + fibras para as farinhas FC_{LC} em relação a FC_C. Entretanto, FC_{CC} apresentou um aumento significativo ($p < 0.05$) em comparação a FC_C. Segundo Adebo, et al. (2022). Em leguminosas, a fermentação pode levar tanto à diminuição quanto ao aumento do teor de carboidratos ou amido. Nos teores de cinzas observou-se uma redução significativa ($p < 0,05$) em torno de 19 % para FC_{LC} em comparação a FC_C. Granito et al., (2005) justifica a redução no teor de cinzas pela lixiviação de elementos minerais em água de fermentação e a utilização dos minerais para o crescimento dos microrganismos durante o processo de fermentação.

Tabela 5 - Perfil de minerais das amostras de farinhas (FC_C, FC_{CC}, FC_{LC})

Perfil de minerais (mg/100g)			
	FC _C	FC _{CC}	FC _{LC}
Zinco	0,27 ^a ± 0,01	0,24 ^a ± 0,01	0,25 ^a ± 0,00
Cobre	0,05 ^a ± 0,00	0,04 ^a ± 0,01	0,05 ^a ± 0,00

Ferro	2,70 ^a ± 0,11	2,59 ^b ± 0,15	2,53 ^b ± 0,08
Manganês	0,20 ^a ± 0,01	0,16 ^b ± 0,01	0,13 ^b ± 0,00
Níquel	0,20 ^a ± 0,01	0,19 ^a ± 0,00	0,20 ^a ± 0,03
Cromo	0,55 ^a ± 0,07	0,56 ^a ± 0,01	0,60 ^b ± 0,00
Magnésio	3,83 ^a ± 0,02	3,99 ^b ± 0,00	3,83 ^a ± 0,02
Cobalto	0,03 ^a ± 0,01	0,05 ^a ± 0,02	0,05 ^a ± 0,04
Cálcio	17,97 ^a ± 0,03	16,60 ^b ± 0,07	17,05 ^{ab} ± 0,21
Alumínio	11,28 ^a ± 0,12	10,91 ^b ± 0,88	9,90 ^b ± 0,11

FC_C - Farinhas de feijão-caupi não fermentado

FC_{CC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com co-cultura

FC_{LC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com *lacticaseibacillus casei*

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p < 0,05).

Com relação ao teor de minerais, as farinhas de FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram redução significativa (p < 0,05) nos teores de ferro, manganês e cálcio. Esse comportamento pode ser justificado, pois os minerais podem ser utilizados como substrato pelo microrganismo durante o processo de fermentação, o que justifica essa redução apresentada pelas amostras de farinhas após o processo de fermentação.

Para os minerais cromo e magnésio houve um aumento significativo (p < 0,05) para FC_{LC} e FC_{CC} em comparação a FC_C. Durante a fermentação outro mecanismo que pode ocorrer é a hidrólise de complexos insolúveis formados pela presença de fatores antinutricionais, como o ácido fítico que se liga a micronutrientes impedindo a sua metabolização e absorção. Desta forma a fermentação também pode promover a maior disponibilidade e aumento de minerais (MILLAR et al., 2019; ADEBO, et al., 2022).

Houve uma redução significativa (p < 0,05) do pH e aumento significativo (p < 0,05) da acidez total das farinhas fermentadas FC_{CC} e FC_{LC} em comparação a farinha FC_C (Tabela 6). O aumento da acidez é de extrema importância para melhora e manutenção da estabilidade microbiológica das farinhas (XING, et al., 2020).

Tabela 6 - pH, acidez e atividade de água das amostras de farinhas (FC_C, FC_{CC}, FC_{LC})

Amostras	pH	Acidez (%)	Aw*
FC_C	6,66 ^a ± 0,02	0,01 ^a ± 0,01	0,21 ^a ± 0,02
FC_{CC}	5,03 ^b ± 0,01	0,03 ^b ± 0,02	0,12 ^b ± 0,01
FC_{LC}	5,41 ^c ± 0,01	0,03 ^b ± 0,00	0,32 ^c ± 0,02

FC_C - Farinhas de feijão-caupi não fermentado

FC_{CC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com co-cultura

FC_{LC} - Farinhas de feijão-caupi fermentado com *lacticaseibacillus casei*

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas (p < 0,05).

Com relação a Aw, verificou-se que a farinha FC_{CC} apresentou menor valor quando comparadas ao controle FC_C (Tabela 1), no entanto o mesmo não foi observado para FC_{LC} que apresentou o maior valor quando comparada a FC_C e FC_{CC}. Essas alterações sinalizaram que as modificações bioquímicas que ocorreram durante o processo de fermentação contribuíram para mudanças na estrutura vegetal da leguminosa que facilitaram a remoção da água durante a secagem de forma mais eficaz para FC_{CC} (WANG, S. et al., 2019).

A distribuição do tamanho de partículas das farinhas de feijão-caupi fermentado e não fermentado é apresentada na figura 3. Na Figura 3 a, b e c estão apresentadas, respectivamente, as amostras de farinhas FC_C, FC_{CC} e FC_{LC} que foram analisadas com base no percentual do volume.

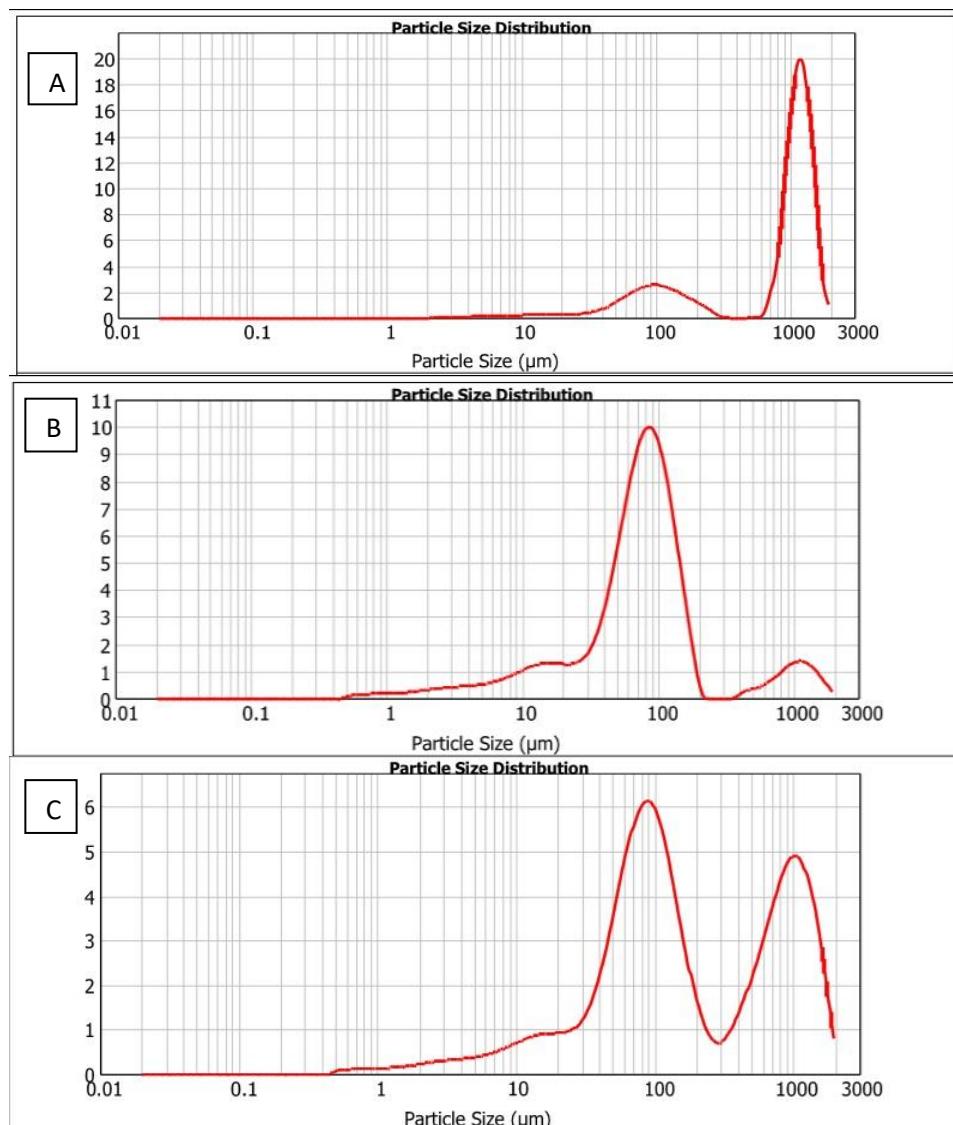


Figura 3. Distribuição de partículas das amostras de farinhas. a) FC_C, b) FC_{CC}, C) FC_{LC}

Os tamanhos de partículas a 10% (d.01), 50% (d.05) e 90% (d.09) na distribuição do volume de FC_C, FC_{CC}, FC_{LC} foram respectivamente 73.428 µm, 13.610 µm e 23.073 µm; 1061.222 µm, 77.012 µm e 121.011 µm; 1482.681 µm, 174.596 µm e 1191.075 µm. Ficou evidente pelos resultados que as amostras de FC_{CC} e FC_{LC} apresentaram tamanho ligeiramente maior a 10% (d.01) e uma redução a 50% (d.05) e 90% (d.09) em comparação com a GBc.

4. CONCLUSÃO

De forma geral, as técnicas de fermentação estudadas (*Lacticaseibacillus casei* ou com co-cultura) se mostraram viáveis para promover melhorias nas propriedades tecnofuncionais e físico-químicas de farinhas de feijão-caupi. A utilização de bactérias ácido-láticas para o processo de fermentação e consequentemente produção das farinhas, apresentou aspectos positivos com destaque para a farinha de FC_{CC} que em sua caracterização físico-química, obteve aumento no teor de proteínas. Ambas as farinhas (FC_{CC} e FC_{LC}) apresentaram redução na umidade, pH e aumento da acidez, apontando um aumento da estabilidade microbiológica. FC_{CC} e FC_{LC} também apresentaram aumento no teor de fenólicos totais, apresentando uma melhora na capacidade antioxidante das farinhas. Portanto, a fermentação de grãos de leguminosas a partir de bactérias ácido-láticas demonstrou ter potencial para a produção de farinhas com melhor qualidade nutricional. De maneira geral, ressalta-se, também, a possibilidade do uso das farinhas fermentadas de feijão-caupi na formulação de diferentes produtos. Do ponto de vista tecnológico e nos parâmetros do processo de fermentação, ainda há muito para ser desenvolvido, o que representa um desafio e uma oportunidade para os pesquisadores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBO, O. A. et al. African sorghum-based fermented foods: Past, current and future prospects. *Nutrients*, v.12, p. 111-118, 2020.

AMJAD, I., KHALIL, I. A., SHAH, H. Nutritional yield and amino acid profile of rice protein as influenced by nitrogen fertilizer, Sarhad. *Journal of Agriculture*, v. 19, p. 127-134, 2003.

ARTEAGA, V. G. et al. Sensory profile, functional properties and molecular weight distribution of fermented pea protein isolate. *Current Research in Food Science*, v.4, p.1-10, 2021.

CHEKID, A. A. et al . Mixture design applied for formulation and characterization of vegetal-based fermented products. *LWT - Food Science and Technology*, Germany, v.146, n. 7, p. 1-10, 2021.

ENUJIUGH, V. N. et al. O. Effect of germination on the functional properties of African bean (*Pentaclethra macrophylla Benth*) seed flour. *Journal of Food, Agriculture and Environment* v.1, n.3, p. 72-75, 2003.

FREITAS, T. K. T. et al. Potential of cowpea genotypes for nutrient biofortification and cooking quality. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, p.1-11, 2022.

GARRIDO-GALAND, S. et al. The potential of fermentation on nutritional and technological improvement of cereal and legume flours: A review, *Food Research International*, v. 145, n.2, p. 398, 2021.

GRANITO, M. et al. Influência da fermentação no valor nutricional de duas variedades de *Vigna sinensis*. *European Food Research and Technology*. v. 220, p. 176- 181, 2005.

GONÇALVES, F. V. et al. Protein, phytate and minerals in grains of commercial cowpea genotypes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.92, p.1-16, 2020.

IOM - INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes (DRIs): Estimated Average

Requirements. Washington, DC: National Academic Press. 2011.

KUMITCH, H.M. The Effect of Solid-State Fermentation on Air-Classified Pea Protein-Enriched Flour to Improve the Digestibility and Functional Properties. Master's Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada, 2019.

KUSUMAYANTI, H. et al. Swelling Power and Water Solubility of Cassava and Sweet Potatoes Flour. *Procedia Environmental Sciences*, Amsterdã, v. 23, p. 164–167, 2015.

McWATTERS, K. H. et al. Utilization of cowpeas human food. *Field crops research*, v. 82, p. 193-213, 2003.

OLIVEIRA, G. P. et al. Metodología para o teste de tetrazólio em sementes de feijão-caupi. *Investigación Agraria*, San Lorenzo, v.20, n. 2, p. 110-117, 2020.

PATHARE, P. B. et al. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol*, v. 6, p. 36-60, 2013

PHILLIPS, R. D.; ABBEY, B. W. Composition and flatulence-producing potential of commonly eaten Nigerian and American legumes. *Food Chemistry*, v. 33, p. 271-280, 1989.

POIANI, M. R.; MONTANUCI, F. D. Physical, technological characterization and texture profile of grapefruit and flaxseed cookies. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 22, p. 1–14, 2019.

RONKO, L. Z. et al. Caracterização físico-química de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris L.*) e das propriedades tecnológicas de sua fração amido. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 15, n. 1, p.3534-3555, 2021.

RUFINO, M. S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, v. 121, p. 996-1002, 2010.

STEVE, I. O. Influence of germination and fermentation on chemical composition, protein quality and physical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*). *Journal of Cereals and Oil seeds*, v. 3, n.3, p.35-47, 2012.

SINGH, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chemistry*, v.81, n.219-231, 2003.

THAIPONG, K. et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 19, p.669-675, 2006.

WANG, S. et al. *Pediococcus acidilactici* strains as silage inoculants for improving the fermentation quality, nutritive value and *in vitro* ruminal digestibility in different forages. *Journal of Applied Microbiology*, v. 126, n.1, p.424-434, 2019.

XIAO, Y. et al. Enhancement of the antioxidant capacity of soy whey by fermentation with *Lactiplantibacillus plantarum* B1-6, *Journal of Functional Foods*, v.12, p.33-44, 2015.

YASUMATSU, K. et al. Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agricultural and Biological Chemistry*, v. 36, n. 5, p. 719–727, 1972.

CAPÍTULO V

Otimização da formulação de massas alimentícias elaboradas com farinhas de grão-de-bico e de feijão-caupi fermentados utilizando planejamento de mistura

Amanda Fulgoni da Cunha Estanech

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Isadora de Carvalho Costa Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

José Lucena Barbosa Júnior

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Endereço: Departamento de Tecnologia de Alimentos, Instituto de Tecnologia, BR-465, Km 7, Seropédica – RJ

Artigo publicado na Revista Observatório Economia Latinoamericana

(Qualis Capes A4).

Otimização da formulação de massas alimentícias elaboradas com farinhas de grão-de-bico e de feijão-caupi fermentados utilizando delineamento de mistura

Optimization of the formulation of pasta made with fermented chickpea and cowpea flour using mixing design

Resumo

A adição de diferentes ingredientes como farinhas integrais, farelos e farinha de leguminosas no desenvolvimento de massas alimentícias tem demonstrado ser uma maneira eficaz de potencializar sua qualidade nutricional. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da substituição parcial de farinha de trigo comum por diferentes percentuais de farinhas de grão-de-bico e feijão-caupi fermentadas com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) no tempo de cozimento, aumento de volume, perda de sólidos solúveis em água e rendimento de massas alimentícias frescas. Foi utilizado um delineamento de mistura simplex centróide com replicatas no ponto central com as variáveis independentes, farinha de feijão-caupi, farinha de grão-de-bico e farinha de trigo. Verificou-se para a análise de variância do modelo proposto a interação entre duas ou três variáveis não foram significativas ($p > 0,05$) para as variáveis respostas, com exceção para o rendimento que apresentou significância ($p < 0,05$) para a interação entre as três variáveis. Nas características tecnológicas, observou-se a tendência gradual de redução do tempo (minutos), do aumento de volume (%) e do rendimento (%) à medida que houve o aumento do nível de substituição da farinha de trigo pelas farinhas de leguminosas fermentadas. O tempo ótimo de cozimento das formulações estudadas variou de 3,87 a 5,70 minutos. A massa controle (100% farinha de trigo) foi a que apresentou o maior tempo de cozimento e rendimento, enquanto que, a formulação com o maior aumento de volume (%) foi a elaborada com 40% de farinha de grão de bico fermentada e com 60% de farinha de trigo. As perdas de sólidos solúveis (%) na água variou de 3,76 a 6,37% e as massas elaboradas com maiores níveis de substituição de farinha de trigo por farinhas de leguminosas fermentadas foram as que apresentaram as maiores perdas. O planejamento de mistura evidenciou que a qualidade de cozimento das massas alimentícias foi influenciada pelas farinhas utilizadas e que maiores níveis de substituição da FT pelas farinhas fermentadas (FCC e FGB) afetaram de forma significativa ($p < 0,05$) em especial, perda de sólidos solúveis de água de cozimento, aumento de volume e rendimento.

Palavras-chave: Leguminosas, bactérias ácido-láticas, pulses, *plant based*.

ABSTRACT

The addition of different ingredients such as whole grain flours, bran, and legume flours in the development of pasta has proven to be an effective way to enhance its nutritional composition. The aim of this study was to evaluate the effect of partially substituting common wheat flour with different percentages of chickpea or cowpea flours fermented with a co-culture (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium*, and *Streptococcus thermophilus*) on cooking time, volume increase, water-soluble solids loss, and yield of fresh pasta. A simple centroid mixture design with replicates at the central point was used, with the independent variables being cowpea flour, chickpea flour, and wheat flour. For the analysis of variance of the proposed model, the interaction between two or three variables was not significant ($p > 0.05$) for the response variables, except for yield, which showed significance ($p < 0.05$) for the interaction between all three variables. In the technological characteristics, a gradual reduction trend was observed in cooking time (minutes), volume increase (%), and yield (%) as the level of substitution of wheat flour by fermented legume flours increased. The optimal cooking time for the studied formulations varied from 3.87 to 5.70 minutes. The control dough (100% wheat flour) had the longest cooking time and highest yield, while the formulation with the greatest volume increase (%) was the one made with 40% fermented chickpea flour and 60% wheat flour. Water-soluble solids losses (%) ranged from 3.76 to 6.37%, and the pastas made with higher levels of wheat flour substitution by fermented legume flours showed the greatest losses. The results of this study demonstrated that the cooking quality of pasta can be influenced by reducing the level of wheat flour and adding legume flours to its composition.

Keywords: Legumes, lactic acid bacteria, pulses, *plant based*.

INTRODUÇÃO

A massa alimentícia é um dos alimentos à base de cereais mais importantes do mundo, frequentemente consumidas, ficam em segundo lugar após o pão, devido ao seu baixo custo e facilidade de preparo. No Brasil, em 2018, o consumo per capita de massas foi de 4,794 kg/ano, e em 2019 de 4,808 kg/ano (DESAI, et al., 2018; ABIMAPI, 2020).

As massas são produzidas tradicionalmente com farinha de sêmola de trigo duro e, por ser um produto à base de trigo, contém carboidratos e proteínas, mas são deficientes em aminoácidos como a treonina e a metionina (DESAI, et al., 2018). A sua qualidade geral é definida por suas propriedades culinárias, características de textura e valor nutricional (LU, et al., 2016).

Embora as massas alimentícias se apresentem como um importante produto a base de cereal no mundo, o risco do desenvolvimento de enfermidades como doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2 e a obesidade são problemas significativos existentes na sociedade, e tais doenças têm se apresentado de forma crescente em meio a maior influência e consumo de produtos industrializados e à base de cereais refinados. Entretanto, a alimentação e o estilo de vida são fatores de risco modificáveis para prevenção e redução do risco de desenvolvimento dessas doenças (HAWKINS, et al., 2018)

O maior interesse dos consumidores por produtos nutricionalmente diferenciados, em especial os alimentos tradicionais, como as massas alimentícias, promovem o crescente desenvolvimento de novas formulações, devido às necessidades nutricionais da vida atual, oferecendo assim uma oportunidade para o uso de matérias-primas não tradicionais (MRIDULA, et al., 2017; RIZZELLO et al., 2017).

A adição de diferentes ingredientes como farinhas integrais, farelos e farinha de oleaginosas e de leguminosas no desenvolvimento de massas, tem demonstrado ser uma maneira eficaz de potencializar a sua composição nutricional. Além disto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) considera a massa um veículo adequado para a adição de diferentes nutrientes para a dieta, uma vez que pode ser fortificado com proteínas, fibras, vitaminas e minerais (CHILLO et al., 2008; LORRUSO et al., 2016). Entretanto, a adição de novos ingredientes na formulação promove modificações em parâmetros tecnológicos e sensoriais, e a utilização de

diferentes tecnologias, podem melhorar algumas destas características, bem como suas propriedades nutricionais (RIZZELLO et al., 2017)

O uso da tecnologia de fermentação constitui um processo com grande potencial para melhorar a qualidade nutricional da massa, como maior digestibilidade proteica e redução do índice glicêmico, além de permitir o uso de diferentes matérias primas. A fermentação a partir de bactérias ácido-láticas (BAL) demonstrou ter êxito nas propriedades nutricionais, como maior digestibilidade e melhores índices nutricionais de proteínas, menor índice glicêmico, melhor atividade antioxidante e redução de compostos antinutricionais, além de se obter diferenciadas características reológicas nas massas (LORUSSO, et al., 2016; RIZZELLO, et al., 2017; ZHAI, et al., 2019).

A utilização da tecnologia da fermentação associada ao uso de ingredientes vegetais é uma excelente forma de contribuir beneficamente com a dieta da população, visto o surgimento de novas demandas do consumidor ao consumo de produtos à base de vegetais (*plant-based*). O desenvolvimento de alimentos com a adição de proteínas alternativas é uma maneira eficaz de atender às necessidades nutricionais do consumidor, bem como, a demanda por produtos que confirmam maior aporte de proteínas dieta, principalmente as de origem vegetal (SÁ et al., 2020).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi elaborar uma massa fresca a partir da substituição parcial da farinha de trigo por diferentes percentuais de farinhas de leguminosas (feijão-caupi e grão-de-bico) fermentadas com co-cultura (*Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus thermophilus*) e avaliar o efeito dessas alterações no tempo de cozimento, aumento de volume, aumento de peso e perda de sólidos solúveis na água, utilizando-se planejamento experimental.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O grão-de-bico, o feijão-caupi e a co-cultura comercial (*Lactobacillus acidophilus* LA5® – 6 log UFC g⁻¹; *Bifidobacterium lactis* BB12® – 6 log UFC g⁻¹; *Streptococcus termophilus* – 6 log UFC g⁻¹) (BioRich, Chr. Hansen, Valinhos, São Paulo, Brasil), farinha de trigo tipo I, ovo em pó e sal foram adquiridos no comércio de Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.

Fermentação do grão-de-bico e do feijão-caupi com co-cultura

O grão-de-bico e o feijão-caupi foram lavados em água corrente e submersos em água destilada durante 12 h, na proporção de 500 g de grão-de-bico ou de feijão-caupi para 2 litros de água destilada. Em seguida, a água foi descartada e substituída usando uma proporção de 1:1 (grão-de-bico: água ou feijão-caupi: água), e o conteúdo foi submetido ao processo de esterilização em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após esta etapa, o grão-de-bico ou o feijão caupi foram resfriados até a temperatura ambiente (25 °C) e adicionou-se a co-cultura comercial na concentração de 0,4 g L⁻¹, conforme as especificações recomendadas pelo fabricante. As amostras de grão-de-bico e de feijão-caupi adicionadas de co-cultura foram submetidas a fermentação em método submerso em estufa a 28 °C por 96 h, seguindo a metodologia proposta por Xial et al. (2015). Em seguida, os grãos fermentados foram prensados em tecido estéril de poliéster para remoção do excesso de água.

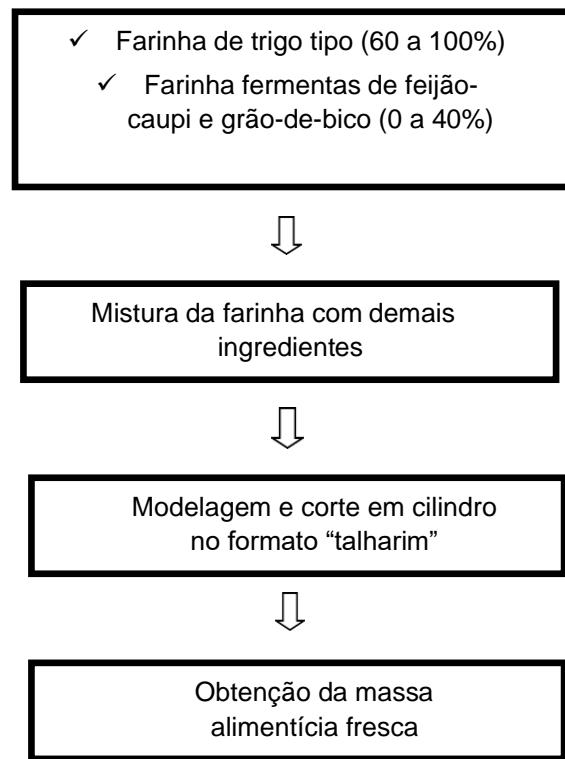
Produção das farinhas de grão-de-bico e feijão-caupi

Para a produção das farinhas, os grãos fermentados foram submetidos à secagem em secador (Microventilador E15CD) a 50 °C por 5 h, moídos em moinho de facas por 40 segundos (IKA A11BS032, Staufen, Alemanha), peneirados por peneira com abertura de 710 µm, obtendo-se 2 farinhas: FGB (farinha de grão-de-bico) e FFC (farinha de feijão-caupi). As farinhas obtidas foram armazenadas em frascos de vidro hermeticamente fechados e acondicionados sob refrigeração a 4 °C.

Elaboração das Massas Frescas adicionadas de farinhas grão-de-bico e farinha de feijão-caupi

As massas alimentícias foram elaboradas conforme a Figura 1 com diferentes níveis de substituição na formulação (Tabela 1), de acordo com o método de Rizzello et al., (2017) com modificações. Foram utilizados farinha de trigo tipo 1 (*T. aestivum*) e farinhas de feijão-grão-de-bico e feijão-caupi fermentados, ovo em pó, água e sal.

Figura 1. Fluxograma e desenvolvimento de massas alimentícias frescas



Fonte: Autoria própria (2023)

Delineamento Experimental

Para avaliar o efeito das farinhas de feijão-caupi (0 a 40%) e de grão-de-bico (0 a 40%) fermentadas na massa alimentícia em substituição à farinha de trigo tipo I (60 a 100%) foi utilizado um planejamento de misturas simplex centróide com restrições e triplicata no ponto central, totalizando 10 ensaios (Tabela 1 e 2).

Tabela 1 - Variáveis de processo e níveis que foram utilizados no planejamento experimental das amostras de massas frescas de farinha de feijão-caupi (FFC), farinha de grão-de-bico (FGB) e farinha de trigo (FT).

Variáveis independentes	Níveis		
	1	0	2
FFC (%)	0,4	0,1	0,2
FGB (%)	0,4	0,1	0,2
FT (%)	0,6	0,8	0,6

*FFC – Farinha de feijão-caupi; FGB – Farinha de grão-de-bico; FT – Farinha de trigo

Fonte: Autoria própria (2023)

As variáveis dependentes serão ajustadas seguindo o modelo polinomial: $Y_i = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$. Em que: X_1 , X_2 e X_3 correspondem a farinha de feijão-caupi, farinha de grão-de-bico e farinha de trigo (Tabela 2), respectivamente; β_1 , β_2 e β_3 , representam os coeficientes lineares; β_{12} , β_{13} e β_{23} representam os coeficientes quadráticos e Y_i representa as variáveis respostas.

Tabela 2 – Matriz com os valores reais do delineamento experimental das amostras de massas frescas de farinha de feijão-caupi (FFC), farinha de grão-de-bico (FGB) e farinha de trigo (FT) para os 10 ensaios.

Ensaio	* FFC (%)	* FGB (%)	* FT(%)
1	0	0	1
2	0,4	0	0,6
3	0	0,4	0,6
4	0	0,2	0,8
5	0,2	0	0,8
6	0,2	0,2	0,6
7	0,1	0,1	0,8
8	0,1	0,1	0,8
9	0,1	0,1	0,8
10	0,1	0,1	0,8

*FFC – Farinha de feijão-caupi; FGB – Farinha de grão-de-bico; FT – Farinha de trigo

Fonte: Autoria própria (2023)

Avaliação das variáveis Respostas

As análises para determinação da qualidade tecnológica das massas foram realizadas as análises de tempo de cozimento, aumento de volume, perda de sólidos solúveis na água e rendimento, de acordo com a metodologia da AACC (1995), conforme descrito abaixo:

Tempo de cozimento

O tempo de cozimento foi determinado mediante a imersão de 10 g do produto em 300 ml de água destilada em ebulição e a compressão das amostras do produto entre duas lâminas de vidro, em intervalos de tempo determinados, até que ocorresse a gelatinização completa do amido em toda a seção da amostra.

Aumento de volume

O aumento de volume foi realizado medindo-se, numa proveta graduada, o volume de querosene deslocado por 10 g de produto, antes e depois do cozimento. O resultado foi determinado pela razão entre as duas medidas e expresso em porcentagem (%).

Perda de sólidos solúveis

A perda de sólidos solúveis foi dada pela porcentagem de sólidos solúveis presentes na água de cozimento do macarrão; coletando-se e medindo-se em uma proveta, a água de cozimento (após a separação da parte sólida (massa) da parte líquida). Uma alíquota de 10 mL foi colocada numa placa de Petri, previamente seca em estufa e pesada. Em seguida foi levada para a estufa durante 5 horas, a 95 °C, e pesada novamente. A percentagem de perda de sólidos solúveis foi dada pela Equação (1).

$$\text{Perda de sólidos solúveis (\%)} = \frac{\text{Volume de água x resíduo seco} \times 100}{\text{Massa do produto cru} \times 10} \quad \text{Equação (1)}$$

Rendimento

O rendimento foi quantificado pela relação de aumento de peso durante o cozimento. Foram colocados 10 g do produto em 300 mL de água destilada em ebulação e cozidos; em seguida, o produto foi drenado em escorredor, durante 10 minutos e pesado. A Equação abaixo foi utilizada para a quantificação do rendimento (%).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Massa do produto cozido} \times 100}{\text{Massa do produto cru}} \quad \text{Equação (2)}$$

Análise estatística

O delineamento experimental e os resultados obtidos a partir das análises das variáveis dependentes foram analisados utilizando-se o software MINITAB®.

RESULTADOS

Análises da qualidade do cozimento das massas alimentícias

De forma geral, observou-se que todos os parâmetros de qualidade do cozimento das massas alimentícias elaboradas com diferentes proporções de farinha de grão-de-bico e/ou farinha de feijão-caupi fermentados foram impactados de forma significativa ($p < 0,05$) em comparação ao controle (Tabela 3).

Tabela 3 – Ensaios do delineamento experimental com os valores para as variáveis respostas: Tempo de cozimento (TC), sólidos solúveis (SS), aumento de volume (AV) e rendimento (RD) das amostras de massas frescas de farinha de feijão-caupi (FFC), farinha de grão-de-bico (FGB) e farinha de trigo (FT).

Ensaio	TC* (minutos)	SS* (%)	AV* (%)	RD* (%)
1	5,77 ^a	3,76 ^c	1,23 ^b	185 ^a
2	3,20 ^b	6,33 ^a	1,32 ^{ab}	158 ^{bc}
3	3,20 ^b	6,37 ^a	1,57 ^a	163 ^b
4	4,20 ^{bc}	5,34 ^b	0,94 ^c	181 ^a
5	3,87 ^b	5,60 ^b	1,23 ^b	175 ^a
6	4,20 ^{bc}	5,87 ^{ab}	1,03 ^c	156 ^c
7	4,43 ^c	5,73 ^b	1,18 ^{bc}	159 ^{bc}
8	4,10 ^{bc}	5,55 ^a	1,06 ^c	156 ^c
9	4,53 ^c	4,43 ^c	1,19 ^b	156 ^c
10	4,30 ^c	5,08 ^b	1,24 ^b	164 ^b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

*TC – tempo de cozimento; SS – Sólidos solúveis; AV- Aumento de volume; RD - Rendimento

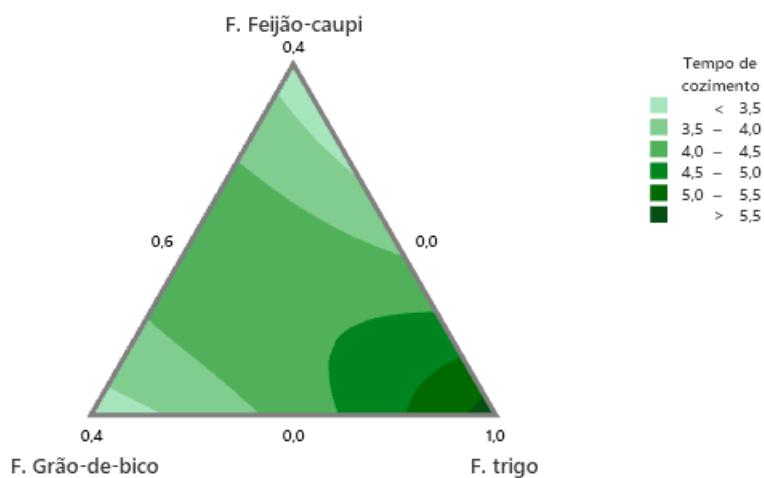
Fonte: Autoria própria (2023)

Tempo de cozimento

Verificou-se que as variáveis analisadas, FFC, FGB e FT influenciaram significativamente ($p < 0,05$) no tempo de cozimento das massas frescas elaboradas. Na análise de variância a interação entre duas (quadrático) ou três variáveis (cúbico) não foram significativas ($p > 0,05$). O R^2 (ajustado) foi de 93,47% demonstrando que o modelo linear foi capaz de prever um bom ajuste.

Pode-se observar uma tendência gradual de redução do tempo de cozimento, à medida que houve o aumento do nível de substituição (%) da farinha de trigo nas formulações das massas alimentícias estudadas (Tabela 3). Observou-se que as amostras formuladas com 40 % de FFC e 40 % de FGB (2 e 3) apresentaram menor tempo de cozimento, em comparação a amostra controle e demais amostras (Figura 2).

Figura 2. Gráfico de contorno de mistura do tempo de cozimento (minutos) em função das variáveis concentração de farinha de feijão-caupi, farinha de grão-de-bico e farinha de trigo.



Fonte: Autoria própria (2023)

A redução no tempo de cozimento de 8 (massa 100% farinha de trigo) para 4 minutos foi observada de massas adicionadas de 35% de farinha de ervilha e de 35% de farinha de grão-de-bico. Segundo os autores o tempo de cozimento varia em função da composição das massas, sendo reduzido pela metade com a adição das farinhas de leguminosas (DEL BEM, et al., 2013).

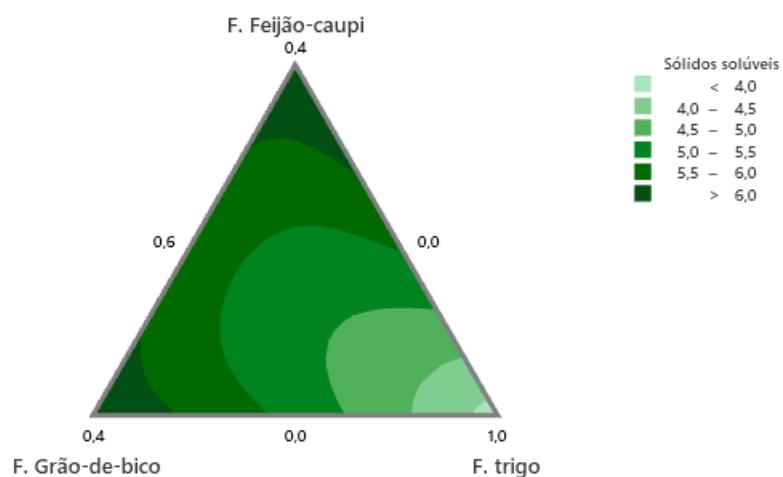
O tempo de cozimento tem um efeito importante sobre a absorção de água e a perda de sólidos solúveis na água na elaboração de massas alimentícias. No presente trabalho, a massa alimentícia de 100 % FT apresentou maior tempo de cozimento e menor perda de sólidos solúveis na água de cozimento (Tabela 3). A redução do tempo de cozimento pode ser explicada pelo aumento da taxa de absorção de água, que é facilitada pelo enfraquecimento da rede entre proteínas (glúten) e amidos (MENEGASSI & LEONEL, 2006). Desta forma, a adição de farinhas de leguminosas fermentadas (FFC e FGB) em diferentes proporções, pode ter favorecido o enfraquecimento da rede de proteína e amido, ocasionado redução da coesão da massa promovendo o aumento de absorção de água, e por conseguinte, redução no tempo de cozimento. Comportamento semelhante foi observado na elaboração de massas alimentícias desenvolvidas com substituição da FT por 60 % de fibra insolúvel do germe de trigo *durum* (controle). Os autores reportaram uma tendência de redução gradual do tempo de cozimento à medida que à medida que a FT era substituída por fibra de trigo *durum* (ARAVINDET al., 2012).

De Lima et al. (2017) desenvolveram massas alimentícias com farinha de grão de bico (FGB) e analisaram os aspectos tecnológicos como tempo de cozimento, perda de sólidos solúveis e coeficiente de absorção de água. Os autores verificaram que a massa controle (100% FT) atingiu tempo de cozimento ideal em 6 minutos, enquanto que, para a massa sem glúten (100% FGB) houve o aumento no tempo de cozimento (10 minutos). Entretanto, no presente estudo, as massas adicionadas de diferentes proporções de FFC e FGB obtiveram menor tempo de cozimento em comparação a amostra controle.

Perda de sólidos solúveis

Na análise de variância para perda de sólidos solúveis a interação entre duas (quadrático) ou três variáveis (cúbico) também não foram significativas ($p > 0,05$). O R^2 (ajustado) foi de 69, 39% demonstrando que outros fatores (fatores implícitos) podem ter afetado a variabilidade das variáveis explicada. Não invalidando as estimativas e projeções do modelo linear (Figura 3).

Figura 3. Gráfico de contorno de mistura de sólidos solúveis (%) em função das variáveis concentração de farinha de feijão-caupi, farinha de grão-de-bico e farinha de trigo.



Fonte: Autoria própria (2023)

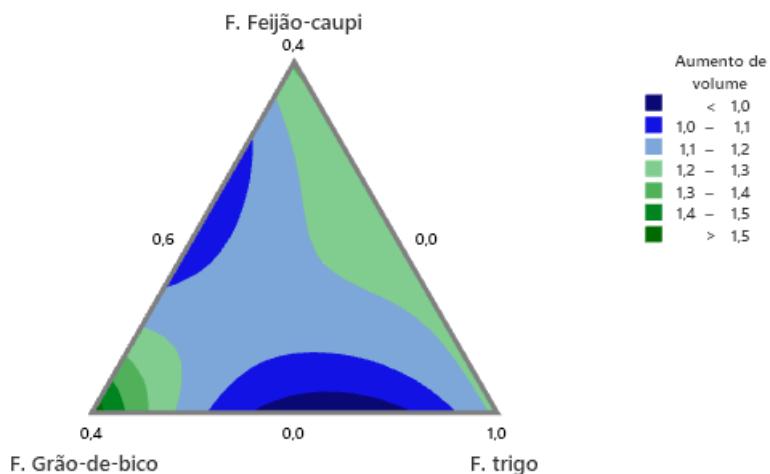
A perda de sólidos solúveis na água de cozimento variou de 3,76 a 6,37% nas formulações estudadas (Tabela 3), sendo que foi observada maiores valores nos Ensaios 2 e 3, que apresentaram maior nível de substituição da FT pela FFC e FGB. Segundo a classificação de Hummel (1966), para massas alimentícias as perdas de sólidos solúveis de até 6% são características de massas de boa qualidade, até 8% de qualidade média e valores iguais ou superiores a 10% são características de baixa qualidade. Das massas elaboradas, apenas os Ensaios 2 e 3 apresentaram valores de sólidos solúveis superiores a 6% (6,33 e 6,37 %), indicando que as demais formulações (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) apresentaram qualidade muito boa (Tabela 3).

Conforme o esperado, a amostra controle (100 % FT) apresentou menor perda de sólidos solúveis na água durante o cozimento (3, 76%). Segundo Rubio et al. (2014), os elevados níveis de substituição de sêmola ou farinha de trigo por farinhas que não contêm glúten podem levar à produção de massas com propriedades de qualidade de cozimentos mais baixas como aumento de perda de sólidos solúveis. Em produtos sem glúten, a perda de sólidos solúveis é resultado da lixiviação de amido gelatinizado livre, por isso é dependente do grau de gelatinização do amido (MARTI et al., 2010).

Aumento de volume

Observou-se que as variáveis analisadas FFC, FGB e FT também influenciaram significativamente ($p < 0,05$) no aumento de volume das massas frescas elaboradas. Na análise de variância a interação entre duas (quadrático) ou três variáveis (cúbico) também não foram significativas ($p > 0,05$), apresentando significância ($p < 0,05$) somente para o efeito linear. O R^2 (ajustado) foi de 80,68% demonstrando que o modelo linear foi capaz de prever um bom ajuste (Figura 4).

Figura 4. Gráfico de contorno de mistura de aumento de volume (%) em função das variáveis concentração de farinha de feijão-caupi, farinha de grão-de-bico e farinha de trigo.



Fonte: Autoria própria (2023)

É esperado que o aumento de volume de massas alimentícias que contenham farinhas sem glúten seja menor, já que o volume depende do teor e da qualidade das proteínas do glúten, que no processo de mistura da massa se hidratam e absorvem água, contribuindo para o aumento do volume (ORMENESE et al., 2001). No presente estudo, observou-se que as massas alimentícias dos ensaios 4, 6, 7, 8 e 9 apresentaram menor volume final em comparação a amostra controle (100% FT). Segundo Foschia, et al. (2015) a inclusão de farinhas com maior teor de fibra dietética no desenvolvimento de massas pode alterar negativamente a tenacidade do produto, que afeta a integridade da proteína na rede de glúten e, consequentemente, a absorção

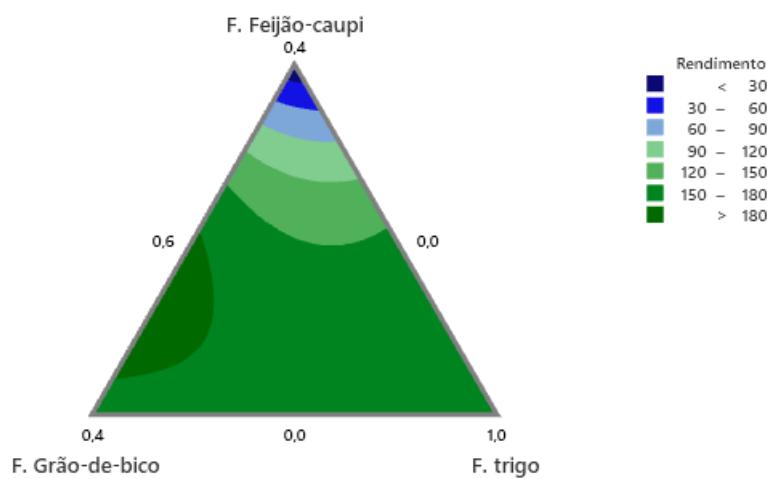
de água e aumento de volume. Del Bem, et al. (2013) também observaram redução de volume de massas adicionadas de 35% de farinha de ervilha e 35% grão-de-bico, obtendo 128,9 % e 97, 5% de volume em comparação a amostra controle (100% FT).

Os efeitos da farinha de fava fermentada e não fermentada por bactérias ácido-láticas nas propriedades mecânicas, estruturais e sensoriais de massa sem glúten demonstraram que a absorção de água teve uma correlação negativa com o teor de proteína e uma correlação positiva com o teor de amido (ROSA-SIBAKOV et al., 2016). Os autores justificaram que, além da quantidade de amido nas amostras de massa alimentícia de leguminosa, o menor tempo de cozimento e a menor absorção de água pode estar relacionados ao maior inchaço dos grânulos de amido. Esse comportamento, pode ser explicado pela maior facilidade de penetração da água na massa alimentícia de fava, permitindo que o processo de gelatinização do amido ocorra com mais rapidez, reduzindo o tempo de cozimento e, consequentemente, a absorção de água durante o cozimento.

Rendimento

Para o rendimento, na análise de variância a interação entre duas (quadrático) variáveis não foram significativas ($p > 0,05$), apresentando significância ($p < 0,05$) somente para a interação entre as três variáveis (cúbico). O R^2 (ajustado) foi de 88,21 % demonstrando que o modelo linear foi capaz de prever um bom ajuste. A interação entre as variáveis FFC, FGB e FT apresentou uma redução gradual no rendimento das massas frescas (Figura 5).

Figura 5. Gráfico de contorno de mistura do rendimento (%) em função das variáveis concentração de farinha de feijão-caupi, farinha de grão-de-bico e farinha de trigo.



Fonte: Autoria própria (2023)

Após o cozimento das massas frescas, o rendimento variou de 156 a 185 % (Tabela 3), apresentando valores muito semelhantes entre as amostras que receberam a adição de FFC e FGB fermentados. O maior valor apresentado foi para a amostra controle de 185 %. As amostras 4 e 5 não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) para a amostra controle, já as demais amostras apresentaram uma redução de rendimento, em comparação ao controle. Quanto ao rendimento (%) espera-se como resultado satisfatório um valor em torno de duas vezes maior ao peso original, isto significa, acima de 200 % (JEONG et al., 2017). Pode-se constatar que as massas elaboradas com diferentes proporções de farinhas de FFC e FGB fermentados apresentaram rendimento abaixo do recomendado (Tabela 3). Menegassi & Leonel (2006) reportaram para massa alimentícia fresca incorporada de mandioquinha e salsa, rendimento de 199 %. Já para massa fresca elaborada com a adição de diferentes proporções (5, 10, 20 e 30 %) de farinha de subproduto de broto de alfafa foram reportados rendimento de 187, 206, 173 e 197 %, respectivamente (CAVALCANTE NETO et al., 2016).

O rendimento (%) das massas alimentícias pode ser influenciado pela composição do produto. Um importante componente capaz de alterar o rendimento, é o amido, sendo este capaz de aumentar a absorção de água durante o cozimento. O amido do trigo apresenta maior capacidade de absorção de água em comparação ao amido de outros vegetais. Desta forma, massas alimentícias elaboradas com diferente

teor de amido podem apresentar menores valores para rendimento (MENEGASSI; LEONEL, 2006; JEONG et al., 2017).

CONCLUSÃO

De forma geral, observou-se que a substituição gradual da farinha de trigo (FT) pelas farinhas de grão de bico (FGB) e farinha de feijão-caupi (FFC) fermentadas afetou todos os parâmetros de cozimento: tempo de cozimento, perda de sólidos solúveis na água, aumento de volume e rendimento.

Nos parâmetros tempo de cozimento, aumento de volume e rendimento foram menores nas massas alimentícias formuladas com as massas de FCC e FGB, em comparação ao controle (100% FT). Porém, as massas elaboradas com maiores níveis de substituição da FT pelas farinhas de leguminosas fermentadas apresentaram maiores valores de perda de sólidos solúveis na água de cozimento. Os resultados do presente estudo evidenciaram que para formulação otimizada de massas frescas o percentual da substituição da FT por farinhas de leguminosas fermentadas devem ser avaliados, pois o aumento no percentual de substituição levou a redução da qualidade tecnológicas (maiores perdas de sólidos solúveis e a menores rendimentos).

A qualidade de cozimento das massas alimentícias pode ser influenciada pelas modificações nas farinhas utilizadas ne sua formulação, mas é possível substituir a FT em determinadas proporções por FFC e FGB fermentadas a fim de se obter melhores benefícios nutricionais, e ainda assim se obter massas frescas com boa qualidade tecnológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMAPI. Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados, 2020.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (AACC). Approved methods of the AACC. 9.ed. Saint Paul, 1995. V.1-2.

ARAVIND N.; SISSONS M.; EGAN N.; FELLOWS C. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, Amsterdā v.130, p. 290-309, 2012.

CAVALCANTE NETO, A. A.; SOARES, J. P.; PEREIRA, C. T. M.; GOMES, M. S. S. O.; SABAASRUR, A. U. O. Utilização de farinha de mesocarpo de babaçu (*Orbignya* sp.) no preparo de massa alimentícia fresca tipo talharim. *Brazilian Journal of Food Research*, Curitiba, v. 7, n.1, p.105-115, 2016.

CHILLO, S.; LAVERSE, J.; FALCONE, P. M.; DEL NOBILE, M. A. Quality of spaghetti in base amaranthus wholemeal flour added with quinoa, broad bean and chick pea. *Journal of Food Engineering*, Ancara, v. 84, p.101-107, 2008.

DE LIMA, B. R.; BOTELHO, R. B. A.; ZANDONADI, R. P. Gluten-Free Pasta: Replacing Wheat with Chickpea. *Journal of Culinary Science and Technology*, England, v. 17, n. 1, p. 1–8, 2017.

DEL BEM, M. S.; POLESI, L.F.; SARMENTO, S. B. S.; ANJOS, C. B. P. Propriedades físico-químicas e sensoriais de massa alimentícia elaboradas com farinhas de leguminosas tratadas hidrotermicamente. *Revista Alimentos e Nutrição Araraquara*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 101-110, 2012.

DESAI, A.; BRENNAN, M.; BRENNAN, C. S. Amino acid and fatty acid profile and digestible indispensable amino acid score of pasta fortified with salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) powder. *European Food Research and Technology*. Germany, v. 244, p. 1729–1739, 2018.

FOSCHIA, M.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A.; BRENNAN, M. A.; BRENNAR, C. S. How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. *LWT - Food Science and Technology*, Germany, v. 61, p. 41- 46. 2015.

HAWKINS, M. A. W., KEIRNS, N. G., HELMS, Z. Carbohydrates and cognitive function. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, London, v. 21, n. 4, p. 302-307, 2018.

HUMMEL, C. Macaroni products: manufacture, processing and packing. London: Food Trade Press, p.287, 1966.

JEONG, S.; KIM, M.; YOON, M. R.; LEE, S. Preparation and characterization of gluten-free sheeted doughs and noodles with zein and rice flour containing different amylose contentes. *Journal of Cereal Science*, London, v.75, p.138-142, 2017.

LORUSSO, A. VERNI, M.; MONTEMURRO, M.; CODA, R. Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *Food Science and Technology*. Germany, v. 78, p.215-221, 2017.

LU, X.; BRENNAN, M.; SERVENTI, L.; MASON, S.; BRENNAN, C. S. How the inclusion of mushroom powder can affect the physicochemical characteristics of pasta. *International Journal of Food Science & Technology*. Germany, v.51, p.2433–2439. 2016.

MARTI, A.; SEETARAMAN, K.; PAGANI, M. A. Rice-based pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking. *Journal of Cereal Science*, London, n.52, p.404-409, 2010

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. Análise de qualidade de umamassa alimentícia mista de mandioquinha-salsa. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, Botucatu, v. 2, n. 1, p.27-36, 2006.

MRIDULA, D.; GUPTA, R. HARJOT, K.; SHEETAL, B. Groundnut Meal and Carrot Fortified Pasta: Optimization of Ingredients Level Using RSM. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. New York, v, 87, p.277-288, 2017.

ORMENESE, R. C. S. C; CHANG, Y. K. Massas alimentícias não convencionais à base de arroz – perfil sensorial e aceitação pelo consumidor. *Brazilian Journal of Food Technology*, São Paulo, v. 4, n. 1, p.67-74, 2001.

PEREIRA, M. O.; BAMPI, M.; RODRIGUES, F. T.; SANTA, O. R. D.; SANTA, H. S. D.; RIGO, M. Elaboração de uma bebida probiótica fermentada a partir de extrato hidrossolúvel de soja com sabor de frutas. *Ambiência*, Guarapuava/PR, v. 5, n. 3, p. 475-487, 2009.

PHONGTHAI, S.; D'AMICO, S.; SCHOENLECHNER, R.; HOMTHAWORNCHOO, W.; RAWDKUEN, S. Effects of protein enrichment on the properties of rice flour based gluten-free pasta. *Technologie*, London, v.80, p.378-385, 2017.

REINHARD, W. D.; KHAN, K.; DICK, J. W.; HOLM, Y. Shelf Life Stability of Spaghetti Fortified with Legumes Flours and Protein Concentrate. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v. 65, n. 4, p. 278-281, 1988.

RIZZELLO, C. G. VERNI, M.; KOIVULA, H.; MONTEMURRO, M.; SEPPA, L.; KEMMELL.; KATINA, K.; CODA, R.; GOBBETTI, M. Influence of fermented faba bean flour on the nutritional, technological and sensory quality of fortified pasta. *Food & Function*. Cambridge, v. 8, p. 860-871, 2017.

ROSA-SIBAKOV, N.; HEINIÖ, R. L.; CASSAN, D.; HOLOPAINEN-MANTILA, U., MICARD, V.; LANTTO, R.; SOZER, N. Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT-Food Science and Technology*, Germany, n.67, p.27-36, 2016.

RUBIO A R I.; BARCA M C.; CHÁVEZ F C.; GASTÉLUM A G C.; BETA T. Effect of semolina replacement with a raw:popped amaranth flour blend on cooking quality and texture of pasta. *LWT – Food Science and Technology*, Germany, v. 57, p. 217-222, 2014.

SÁ, A. G. A.; MORENO, Y. M. F.; CARCIOFI, B. A. M. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science and Technology*, Germany, v. 97, n. 1, p. 170–184, 2020.

WANG. S.; DONG. Z.; LI. J.; CHEN. L.; SHAO, T. *Pediococcus acidilactici* strains as silage inoculants for improving the fermentation quality, nutritive value and in vitro ruminal digestibility in different forages. *Journal of Applied Microbiology*, London, v. 126, p.424-434, 2019.

ZHAI, Q.; GUO, Y.; TANG, X.; TIAN, F.; ZHAO, J.; ZHANG, H.; CHEN, W. Removal of cadmium from rice by *Lactobacillus plantarum* fermentation. *Journal Food Control*. Germany, v. 96, p. 357-364, 2019.

CONCLUSÃO GERAL

De forma geral, o processamento e a fermentação com a utilização de bactérias láticas demonstraram promover melhorias nas propriedades tecno-funcionais, capacidade antioxidante, físico-químicas e nutricionais de farinhas de grão-de-bico e feijão-caupi. Todas as farinhas fermentadas (GB_{CC}; GB_{LC}; FC_{CC}; FC_{LC}) apresentaram menor atividade de água, redução do pH e aumento da acidez, o que melhorou a estabilidade microbiológica em comparação à farinha não fermentada (GB_C e FC_C). Nas farinhas de GB, a fermentação com a co-cultura (GB_{CC}) originou farinhas com colorações mais clara, com maior teor de compostos fenólicos totais, no entanto, com menor capacidade emulsificante e estabilidade de emulsão, em relação as fermentadas apenas com *Lacticaseibacillus casei*, destacando a importância de seleção dos microrganismos que realizarão a fermentação. Para as farinhas fermentadas de feijão-caupi (FC_{CC} e FC_{LC}), FC_{CC} em sua caracterização físico-química, obteve aumento no teor de proteínas. FC_{CC} e FC_{LC} também apresentaram aumento no teor de fenólicos totais, apresentando uma melhora na capacidade antioxidante das farinhas.

Na aplicação das farinhas FFC e FGB na elaboração de massas alimentícias frescas, observou-se que todos os parâmetros de qualidade avaliados (tempo de cozimento, sólidos solúveis, aumento de volume e rendimento) apresentaram diferenças significativas ($p > 0.05$) em comparação a amostra controle (FT 100%). Os resultados evidenciaram que os parâmetros da qualidade de cozimento podem ser influenciados pelas modificações na composição do produto, mas que é possível substituir a FT em determinadas proporções por FFC e FGB a fim de se obter melhores benefícios nutricionais.

De maneira geral, a fermentação de grãos de leguminosas a partir de bactérias ácido-láticas demonstrou ter potencial para a produção de farinhas com melhor qualidade nutricional, ressalta-se, também, a potencialidade do uso das farinhas fermentadas de grão-de-bico e feijão-caupi na formulação de diferentes produtos. Do ponto de vista tecnológico e nos parâmetros do processo de fermentação, ainda há muito para ser desenvolvido, o que representa um desafio e uma oportunidade para os pesquisadores.

APÊNDICE I

Cursos, eventos e capacitações na elaboração de massas alimentícias

Data	Evento
17/09/2019	Workshop de massas alimentícias frescas
19/10/2022	oficina de massas alimentícias frescas - Semana acadêmica da Engenharia de Ciências agrícolas
08/11/ 2022 a 10/11/ 2022	Semana nacional de Ciência e tecnologia da UFRRJ: Gastronomia molecular – Oficina na cozinha
26/05/2023	Oficina de massas frescas – Programa de Pós-graduação em Agricultura Orgânica (PPGAO)
11/07/2023	Curso de extensão Semana Rural: Oficina de massas alimentícias frescas artesanais.

APÊNDICE II

Imagens (fotos) de algumas etapas do processo de fermentação e produção das farinhas.



Esterilização/autoclave



Fermentação/ matéria-prima



Farinha de feijão-caupi e grão-de-bico fermentados