

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PGEAGRI - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**BRANQUEAMENTO, HIDRATAÇÃO E SECAGEM NO PROCESSAMENTO DE FEIJÃO
COMUM**

CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA PAZ

**CASCAVEL, PARANÁ
2024**

CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA PAZ

**BRANQUEAMENTO, HIDRATAÇÃO E SECAGEM NO PROCESSAMENTO DE FEIJÃO
COMUM**

Tese de doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Sistemas Biológicos e Agroindustriais – SBA.

Orientadora: Dra. Silvia Renata Machado Coelho

Coorientadores: Dra. Lêda Rita D'Antonino Faroni
Dr. Ernandes Rodrigues de Alencar

CASCADEL, PARANÁ

2024

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Henrique de Oliveira Paz, Carlos
Branqueamento, hidratação e secagem no processamento de
feijão comum / Carlos Henrique de Oliveira Paz; orientadora
Silvia Renata Machado Coelho; coorientadora Lêda Rita D'
Antonino Faroni . -- Cascavel, 2024.
112 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade
Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, 2024.

1. Feijão. 2. Técnicas de processamento . 3. Ozônio. 4.
Metabólitos secundários . I. Renata Machado Coelho, Silvia ,
orient. II. Rita D' Antonino Faroni , Lêda, coorient. III.
Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Reitoria
CNPJ 78.680.337/0001-84
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário
Tel.: (45) 3220-3000 - www.unioeste.br
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701
Cascavel - PARANÁ



CARLOS HENRIQUE DE OLIVEIRA PAZ

BRANQUEAMENTO, HIDRATAÇÃO E SECAGEM NO PROCESSAMENTO DE FEIJÃO COMUM

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Tecnologias de Produção Vegetal e Pós-colheita, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a) - Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Lêda Rita D'antonino Faroni

Universidade Federal de Viçosa (UFV)



Documento assinado digitalmente
LEDA RITA DANTONINO FARONI
Data: 02/07/2024 14:37:38-0300
Verifique em <https://validar.jli.gov.br>

Ernandes Rodrigues de Alencar

Universidade Federal de Viçosa (UFV)



Documento assinado digitalmente
ERNADES RODRIGUES DE ALENCAR
Data: 02/07/2024 15:38:50-0300
Verifique em <https://validar.jli.gov.br>

Luciana Bill Mikito

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Documento assinado digitalmente
LUCIANA BILL MIKITO
Data: 01/07/2024 07:00:25-0300
Verifique em <https://validar.jli.gov.br>

Divair Christ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Documento assinado digitalmente
DIVAIR CHRIST
Data: 03/07/2024 14:21:42-0300
Verifique em <https://validar.jli.gov.br>

Naimara Vieira do Prado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)



Documento assinado digitalmente
NAIMARA VIEIRA DO PRADO
Data: 24/06/2024 13:57:57-0300
Verifique em <https://validar.jli.gov.br>

Adilson Ricken Schuelter

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Documento assinado digitalmente
ADILSON RICKEN SCHUELTER
Data: 01/07/2024 18:02:58-0300
Verifique em <https://validar.jli.gov.br>

Cascavel, 19 de junho de 2024.

BIOGRAFIA

Carlos Henrique de Oliveira Paz, natural de Cascavel – PR – Brasil, nascido em 7 de fevereiro de 1996, formou-se com grau de Bacharelado em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Ciências Exatas e Tecnológicas na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) em 2018. Durante a graduação participou de projeto de iniciação científica (PIBIC) entre os anos de 2014 e 2017, no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas (LACON), sob a orientação da Professora Dra. Silvia Renata Machado Coelho. De 2014 a 2015, foi bolsista pelo programa da UNIOESTE com tema: Qualidade de grãos de soja armazenados em condições ambientais controladas. De 2015 a 2016 foi bolsista pelo CNPq com o projeto de avaliação físico-química da torta de crame em diferentes tempos de armazenamentos. No ano de 2016 foi bolsista da Fundação Araucária com projeto referente à avaliação de métodos de obtenção de concentrado proteico de torta de crame. De 2017 a 2018 foi bolsista da FUNDETEC no projeto BioFORT auxiliando no estudo de cultivares biofortificadas e seu desenvolvimento no oeste paranaense. Em fevereiro de 2020, concluiu no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) na UNIOESTE, *campus* Cascavel, o nível de mestrado, sob a orientação da Professora Dra. Silvia Renata Machado Coelho, com dissertação intitulada “Processamento em diferentes soluções para obtenção de feijão seco com reduzido tempo de cozimento” sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. No mesmo ano (2020), ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais, sob a orientação da Professora Dra. Silvia Renata Machado Coelho, estudando o tema: **Branqueamento, hidratação e secagem no processamento de feijão comum**, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

“A educação é a arma mais poderosa que
você pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, cujo amor e apoio inabaláveis foram a força motriz por trás de cada passo dado em minha jornada.

À minha mãe, Emilia Aparecida de Oliveira, pela sua incansável dedicação e sacrifícios, que me permitiram perseguir meus sonhos.

À minha orientadora, Silvia Renata Machado Coelho, pela sua orientação, paciência infinita e constante encorajamento ao longo desta jornada.

À minha coorientadora Lêda Rita D'Antonino Faroni e ao meu coorientador Ernandes Rodrigues de Alencar, pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À comunidade acadêmica e aos colegas de estudos, cujas contribuições e debates enriqueceram profundamente minha compreensão do tema.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná e à Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio e infraestrutura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

PAZ, Carlos Henrique de Oliveira. **Branqueamento, hidratação e secagem no processamento de feijão comum**. Orientadora: Silvia Renata Machado Coelho; Coorientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni; Coorientador: Ernandes Rodrigues de Alencar. 2024. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – Paraná, 2024.

RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma fonte crucial de proteínas em diversas dietas, especialmente em regiões onde o acesso a proteínas de origem animal é restrito. Reconhecido por sua rica composição nutricional, incluindo proteínas, fibras, vitaminas e minerais, o feijão é considerado um alimento funcional devido ao seu potencial para prevenir doenças. No entanto, as transformações nos hábitos de vida associadas ao processo de urbanização têm contribuído para a redução do consumo de feijão. Para atender à demanda por praticidade na preparação de alimentos, as indústrias têm buscado técnicas de processamento que reduzam o tempo de cozimento dos grãos. Nesse sentido, o processamento por branqueamento e hidratação em diferentes tipos de soluções, seguidos de secagem, pode ser uma alternativa promissora para o desenvolvimento de produtos à base de feijão com tempos de preparo reduzidos. Este estudo investigou o processamento de grãos de feijão comum, utilizando técnicas de branqueamento e hidratação, explorando diferentes tempos e condições de soluções para cada uma dessas etapas. Os parâmetros tecnológicos avaliados incluíram tempo de cozimento, capacidade de absorção de água, cor dos grãos processados e porcentagem de danos após o processamento. A qualidade química foi avaliada por meio dos teores de fibras, proteínas, lipídios, açúcares redutores e metabólitos secundários, como fitatos, taninos e atividade antioxidante. Os resultados indicaram que o branqueamento dos grãos de feijão carioca em soluções de bicarbonato de sódio, carbonato de sódio, metabissulfito de sódio e ácido ascórbico por períodos superiores a 30 segundos aumenta o tempo de cozimento, com o maior aumento (73,4%) observado para o branqueamento por 180 segundos em solução de metabissulfito de sódio (0,50 g.100 ml⁻¹). No entanto, o branqueamento realizado por 30 segundos com ácido ascórbico (0,75 g.100 ml⁻¹) ou metabissulfito de sódio (0,50 g.100 ml⁻¹) contribuem para a redução da alteração de cor dos grãos após o processamento. A hidratação dos grãos por 12 horas em solução de carbonato de sódio (1,50 g.100 ml⁻¹) reduziu o tempo de cozimento em 73% e minimizou danos ao produto processado. O branqueamento por 30 segundos seguido de hidratação por 12 horas em água destilada, resultou em redução do tempo de cocção de 31,7%, mantendo a qualidade química e os teores de metabólitos secundários, destacando-se como uma alternativa viável para o processamento dos grãos de feijão carioca. A hidratação dos grãos de feijão vermelho com água ozonizada, bicarbonato de sódio e carbonato de sódio demonstrou reduções no tempo de cozimento de 22,5%, 36,2% e 88,1%, respectivamente. A água ozonizada aumentou a absorção de água dos grãos em 4,4%, em relação aos grãos não processados, embora tenha aumentado os danos ao produto em 4,5%. O uso da solução de carbonato de sódio (3 g.100 ml⁻¹) e água ozonizada no processo de hidratação dos grãos reduziu os teores de taninos em 77,5% e 55%, respectivamente, e a capacidade antioxidante em 75,5% e 58,9%, sem alterar os teores de fibras, proteínas e lipídios.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., tempo de cozimento, ozônio, qualidade tecnológica, metabólitos secundários.

PAZ, Carlos Henrique de Oliveira. **Blanching, hydration, and drying in the processing of common beans**. Advisor: Silvia Renata Machado Coelho; Co-advisor: Lêda Rita D'Antonino Faroni; Co-advisor: Ernandes Rodrigues de Alencar. 2024. 112 p. Dissertation (Doctorate in Agricultural Engineering) – Western Paraná State University, Cascavel – Paraná, 2024.

ABSTRACT

Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are a crucial source of protein in various diets, especially in regions where access to animal-based proteins is limited. Recognized for their rich nutritional composition, including proteins, fibers, vitamins, and minerals, beans are considered a functional food due to their potential to prevent diseases. However, changes in lifestyle habits associated with the urbanization process have contributed to a reduction in bean consumption. In order to meet the demand for convenience in food preparation, industries have been seeking processing techniques that reduce the cooking time of beans. In this context, processing through blanching and hydration in different types of solutions, followed by drying, may be a promising alternative for developing bean-based products with reduced preparation times. This study investigated the processing of common bean grains using blanching and hydration techniques, exploring different times and solution conditions for each of these stages. Technological parameters evaluated included cooking time, water absorption capacity, color of the processed beans, and percentage of damage after processing. Chemical quality was assessed through the levels of fiber, proteins, lipids, reducing sugars, and secondary metabolites such as phytates, tannins, and antioxidant activity. The results indicated that blanching pinto beans in solutions of sodium bicarbonate, sodium carbonate, sodium metabisulfite, and ascorbic acid for periods longer than 30 seconds increases cooking time, with the largest increase (73.4%) observed for blanching for 180 seconds in a sodium metabisulfite solution (0.50 g/100 ml). Nonetheless, blanching for 30 seconds with ascorbic acid (0.75 g/100 ml) or sodium metabisulfite (0.50 g/100 ml) helps reduce color alteration of the beans after processing. Hydrating the beans for 12 hours in a sodium carbonate solution (1.50 g/100 ml) reduced the cooking time by 73% and minimized damage to the processed product. Blanching for 30 seconds followed by 12 hours of hydration in distilled water resulted in a 31.7% reduction in cooking time while maintaining chemical quality and secondary metabolite levels, highlighting it as a viable alternative for processing pinto beans. Hydrating red bean grains with ozonized water, sodium bicarbonate, and sodium carbonate demonstrated reductions in cooking time of 22.5%, 36.2%, and 88.1%, respectively. Ozonized water increased the water absorption of the beans by 4.4% compared to unprocessed beans, although it also increased product damage by 4.5%. Using sodium carbonate solution (3 g/100 ml) and ozonized water in the bean hydration process reduced tannin levels by 77.5% and 55%, respectively, and antioxidant capacity by 75.5% and 58.9%, without altering the levels of fiber, proteins, and lipids.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., cooking time, ozone, technological quality, secondary metabolites.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Cultura do feijoeiro	5
3.1.1 Importância, produção e consumo.....	6
3.1.2 Características nutricionais do feijão	8
3.2 Padrões de qualidade sensorial e tecnológica.....	11
3.2.1 Cocção de feijões	13
3.2.2 Cor em grãos de feijão	16
3.3 Processamento do feijão	19
3.3.1 Alterações pós-processamento	23
3.4 Ozônio no processamento de alimentos.....	25
REFERÊNCIAS	28
4 ARTIGO 1 - Qualidade nutricional de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) submetido aos processos de branqueamento e hidratação	37
4.1 INTRODUÇÃO	38
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.2.1 Matéria-prima	39
4.2.2 Primeira etapa	40
4.2.2.1 Capacidade de absorção de água antes do cozimento (ABS)	41
4.2.2.2 Tempo de cozimento (TC)	41
4.2.2.3 Porcentagem de grãos danificados após o processamento (PGD).....	42
4.2.2.4 Cor	42
4.2.3 Segunda etapa	43
4.2.3.1 Proteínas	44

4.2.3.2 Fibra bruta	44
4.2.3.3 Teor de lipídios	45
4.2.3.4 Potencial hidrogeniônico (pH).....	45
4.2.3.5 Taninos.....	45
4.2.3.6 Atividade antioxidante	46
4.2.3.7 Fitatos	46
4.2.3.8 Açúcares redutores	46
4.2.3.9 Análise estatística	47
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.3.1 Primeira etapa: Efeito dos fatores de processamento utilizados nas etapas de branqueamento e hidratação na qualidade tecnológica dos grãos de feijão processados	47
4.3.2 Segunda etapa: Caracterização tecnológica, química e de metabólitos secundários dos grãos de feijão processados	59
4.4 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	72
5 ARTIGO 2 - PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE FEIJÃO DE COZIMENTO RÁPIDO COM ÁGUA OZONIZADA E SOLUÇÕES QUÍMICAS	77
5.1 INTRODUÇÃO	78
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	79
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
5.4 CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS	99

LISTA DE TABELAS

Artigo 1

Tabela 1	Tipo de soluções utilizadas no processamento dos grãos de feijão e suas respectivas concentrações e pH.....	40
Tabela 2	Descrição dos tratamentos e soluções utilizadas no processamento dos grãos de feijão, com suas respectivas concentrações.....	43
Tabela 3	Valores médios de tempo de cozimento (minutos) de grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções	48
Tabela 4	Valores médios de capacidade de absorção de água (%) de grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções.....	51
Tabela 5	Valores médios de porcentagem de danos (%) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções	54
Tabela 6	Valores médios de luminosidade (L^*) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções	56
Tabela 7	Valores médios de diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções	58
Tabela 8	Valores médios de tempo de cozimento (TC), capacidade de absorção de água (ABS), porcentagem de grãos danificados (PGD), luminosidade (L^*) e diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções.....	61
Tabela 9	Valores médios de fibras bruta, proteínas, lipídeos, açúcares redutores e pH, dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções.....	65
Tabela 10	Valores médios de taninos, capacidade antioxidante (DPPH) e fitatos dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções	69

Artigo 2

Tabela 1	Descrição dos tratamentos conforme as condições das soluções (g.100 ml ⁻¹) e temperatura (°C) das soluções utilizadas no processamento dos grãos de feijão	80
Tabela 2	Valores médios de tempo de cozimento (minutos) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas.....	84
Tabela 3	Valores médios de capacidade de absorção de água (%) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas.....	86
Tabela 4	Valores médios de porcentagem de danos (%) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas.....	88
Tabela 5	Valores médios de luminosidade (L*) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas.....	89
Tabela 6	Valores médios de diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas.....	90
Tabela 7	Valores médios de fitatos ($\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$), taninos ($\text{mg. } 100\text{g}^{-1}$) e capacidade antioxidante ($\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$) dos grãos controle e processados por imersão em diferentes soluções	95

LISTA DE FIGURAS

Artigo 1

Figura 1	Aspecto visual do feijão carioca controle e processado após a realização dos ensaios.	64
-----------------	--	----

Artigo 2

Figura 1	Aspecto visual do feijão controle e processado após a realização dos tratamentos.	91
Figura 2	Valores médios para o teor de proteínas (%), fibras (%), lipídios (%) e açúcares redutores ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) dos grãos controle e processados por imersão em diferentes soluções.	92

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AOAC	Associação de Químicos Analíticos Oficiais
FAO	Organização das Nações Unidas, para a Alimentação e Agricultura
ABS	Capacidade de absorção de água
TC	Tempo de cozimento
PGD	Porcentagem de grãos danificados
Δe^*	Diferença de cor
CO ₂	Dióxido de carbono
C ₆ H ₈ O ₆	Ácido ascórbico
NaCl	Cloreto de Sódio
NaHCO ₃	Bicarbonato de sódio
NaHSO ₃	Bissulfito de sódio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
Na ₂ S ₂ O ₅	Metabissulfito de sódio
K ₂ CO ₃	Carbonato de potássio
O ₂	Oxigênio
O ₃	Ozônio

1 INTRODUÇÃO

Cultivado em quase todos os países de clima tropical e subtropical, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais fontes de proteína de muitas populações, sendo em muitas regiões do mundo a leguminosa mais consumida na dieta humana, principalmente em locais em que o consumo de proteína animal é relativamente escasso. É um alimento que apresenta em sua composição proteínas, fibras, vitaminas e minerais, o que torna seu consumo benéfico sob o ponto de vista nutricional, por essa razão lhe é atribuída a qualidade de alimento funcional, pois desempenha um papel importante na redução de incidência de algumas doenças.

O grão de feijão exibe uma grande diversidade de formas, cores e tamanhos, capazes de satisfazer a uma ampla gama de preferências gastronômicas, desde as mais simples até as mais refinadas. A qualidade dos grãos de feijão é determinada por dois fatores principais: em primeiro lugar, suas características tecnológicas, que influenciam diretamente na aceitabilidade e no consumo por parte dos consumidores; em segundo lugar, seu valor nutritivo. As características tecnológicas englobam uma ampla variedade de atributos físicos, tais como o tamanho, forma, cor, aparência, capacidade de hidratação, propriedades de cocção dos grãos, textura e sabor (Siloichi et al., 2016a).

Para o consumo dos grãos, é necessário o seu processamento por meio de cozimento, que necessita de certo tempo de dedicação. Devido à mudança nos hábitos de vida, como resultado da urbanização e da crescente participação da mulher no mercado de trabalho, tarefas domésticas como cozinhar produtos que necessitem de maior dedicação e tempo, deixaram de ser prioridade na rotina familiar. Como consequência, o consumo interno *per capita* de feijão apresentou uma acentuada redução nos últimos anos (Conab, 2024). Para atender às demandas atuais, por praticidade, conveniência e qualidade na preparação dos alimentos, as indústrias de processamento têm se empenhado no sentido de atender a essas aspirações do consumidor moderno, oferecendo produtos prontos ou semiprontos com reduzido tempo de preparo (Schoeninger et al., 2018).

O desenvolvimento de técnicas eficazes de processamento que reduzam o tempo de cozimento dos grãos de feijão é essencial para aumentar sua acessibilidade e promover seu consumo regular. Visando à obtenção da redução do tempo de cozimento dos grãos de feijão, uma forma de processamento que pode ser empregado e que apresenta grande potencial em atender às preferências do consumidor brasileiro por grãos secos, é a que visa obter um

produto processado seco e de cozimento rápido. O objetivo dessa técnica é reduzir o tempo de preparação para os consumidores domésticos. A ideia básica é a de grãos submetidos a um processamento, seguido da secagem, com a finalidade de apresentar ao consumidor um produto seco, com aspecto visual parecido ao grão *in natura* encontrado no mercado (Paz et al., 2023).

As etapas que envolvem o processamento do feijão seco de cozimento rápido podem ser: o branqueamento, a hidratação (maceração) e a secagem. A etapa de branqueamento, consiste em um tratamento térmico que utiliza alta temperatura e curto período de tempo de exposição dos grãos, realizado antes de qualquer processo de preservação, como a secagem, o enlatamento ou congelamento, determinando em grande parte a qualidade do produto. A hidratação em grãos de feijão é a etapa que antecede o cozimento, tradicionalmente realizada pelos consumidores por algumas horas, o que permite a absorção de água, facilitando a etapa de cozimento e garantindo maciez ao produto. A possibilidade de redução no tempo de cocção de grãos quando hidratados viabilizou o planejamento de metodologias alternativas com o mesmo propósito. Dentre essas metodologias, a hidratação de grãos de feijão pode ser utilizada em associação com processos químicos, como por exemplo, adição de sais com o objetivo de reduzir o tempo de cocção dos grãos (Schoeninger et al., 2014; Buzera et al., 2018; Paz et al., 2023).

A seleção criteriosa das técnicas de processamento do feijão é fundamental para a preservação de seu valor nutricional e a minimização da perda de nutrientes, ao longo das etapas de processamento. Nesse contexto, uma prática que tem recebido considerável atenção nas últimas décadas é a aplicação de ozônio, por suas reconhecidas propriedades de desinfecção e descontaminação, amplamente empregadas em variados setores, inclusive na indústria alimentícia. O emprego de ozônio no processamento de grãos é uma estratégia promissora, fundamentada em sua eficácia comprovada na eliminação de microrganismos e insetos, contribuindo assim para a garantia da segurança alimentar (Silva et al., 2020; Siteo et al., 2024). A consideração de utilizar o ozônio na água de hidratação durante o processamento de grãos, como o feijão, é plausível e pode acarretar uma série de efeitos benéficos. Contudo, os efeitos específicos decorrentes da aplicação de ozônio na etapa de hidratação de grãos, especialmente no que tange ao feijão, permanecem, em grande medida, desconhecidos.

Embora esses processos ainda não sejam empregados industrialmente em larga escala e ainda seja pequena a quantidade de produtos industrializados no mercado e do baixo número de indústrias que realizam algum tipo de processamento e industrialização, estudos a respeito das características e processos para elaboração de novos produtos, com economia

e qualidade, é de suma importância para as indústrias atenderem às necessidades dos consumidores.

Este trabalho tem como finalidade a investigação de técnicas de processamento de grãos de feijão visando à elaboração de um produto de feijão de cozimento rápido, através do processamento por meio de hidratação com o uso de soluções químicas e aplicação de ozônio. Objetivou-se a análise de diferentes métodos e condições de processamento dos grãos e a relação entre tais condições de processo com os parâmetros de qualidade tecnológica e química do produto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar métodos e condições de processamento de grãos de feijão, utilizando soluções químicas e ozônio, com o intuito de desenvolver um produto de feijão seco com reduzido tempo de cozimento, correlacionando os efeitos do processamento aos parâmetros de qualidade tecnológica e química dos grãos processados.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar diferentes concentrações e composições de soluções químicas utilizadas nos processos de branqueamento e hidratação de grãos de feijão, sobre os parâmetros de qualidade tecnológica, química e de compostos secundários dos grãos.
- Realizar a avaliação dos efeitos de diferentes tempos de hidratação e branqueamento na qualidade dos grãos processados.
- Investigar a influência da combinação de soluções químicas e ozônio no processo de hidratação dos grãos.
- Avaliar a interferência do uso de diferentes temperaturas das soluções químicas durante o processo de hidratação, em conjunto com a aplicação de ozônio, na qualidade dos grãos processados.
- Comparar os resultados de qualidade obtidos com os padrões de qualidade estabelecidos para grãos de feijão não processados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultura do feijoeiro

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa cultivada em quase todos os países de clima tropical e subtropical, destacando-se no cenário mundial por ser em muitas regiões do mundo a leguminosa mais consumida na dieta humana. Esse fato se deve à sua composição química rica em nutrientes essenciais como proteínas, carboidratos e minerais, o que torna o seu consumo benéfico sob o ponto de vista nutricional.

A origem do feijão é ainda um assunto muito debatido. Alguns historiadores relatam a existência de três centros primários de diversidade genética na origem do feijão. O primeiro é o centro mesoamericano, que se estende desde o Sudoeste dos Estados Unidos ao Panamá. O segundo é o Sul dos Andes, que abrange desde o Norte do Peru até as províncias do noroeste da Argentina. Por fim, o terceiro é o Norte dos Andes, que vai da Colômbia e Venezuela até ao Norte do Peru (Graham; Ranalli, 1997; Vlasova et al., 2016). Segundo Mamidi et al. (2012), evidências mostram que a cultura é originária de duas populações selvagens da região da Mesoamérica e Andina, que divergiram de um ancestral comum há mais de 100.000 anos.

O feijoeiro comum é uma planta herbácea caracterizada por um sistema radicular pivotante que alcança cerca de 20 cm de comprimento, concentrando a maior parte nos 10 cm superficiais do solo. Seu caule é herbáceo e suas folhas são pecioladas, trifolioladas e alternas, com exceção das primeiras, que são simples e opostas. Nas folhas trifolioladas, o folíolo central ou terminal é simétrico e acuminado, enquanto os folíolos laterais são assimétricos e acuminados (Leon, 1968; Vieira, 1967). O hábito de crescimento pode ser determinado (ereto) ou indeterminado (semiereto, prostrado e trepador). Os frutos são vagens retas ou ligeiramente curvas, achatadas ou arredondadas, com bico reto ou curvado, geralmente medindo de 9 a 12 cm de comprimento e contendo de 3 a 7 sementes, cuja coloração varia de verde a marrom, de acordo com seu grau de maturação. O ciclo da cultura varia de 60 a 120 dias, dependendo do genótipo e das condições de cultivo (Almeida; Canéchio-Filho, 1987; Santos; Gavilaine, 2006).

O desenvolvimento da cultura é influenciado diretamente por fatores climáticos, sendo a temperatura e a precipitação os mais importantes, pois, em condições ideais, determinam o potencial de produtividade. Regiões com variações de temperaturas entre 15 e 29 °C são

consideradas aptas para o plantio, sendo 21 °C a temperatura ideal de cultivo. Regiões com temperaturas acima de 29 °C são prejudiciais, principalmente durante o florescimento, pois causam o abortamento de flores e, conseqüentemente, diminuem o número de vagens por planta. Por outro lado, em regiões com temperaturas abaixo de 12 °C ocorre a redução, atraso ou impedimento da germinação de sementes e emergência de plântulas, além de causar abortamento floral (Portugal; Peres; Rodrigues, 2015).

Em relação à necessidade hídrica da planta, a deficiência ou excesso de água podem reduzir a produtividade em diferentes proporções. A planta é altamente sensível à falta de água durante a floração, no início da formação das vagens e no período de enchimento dos grãos. Geralmente, o requerimento total de água está na faixa de 250 a 350 mm por ciclo vegetativo (Oliveira et al., 2018).

As diversas cultivares de feijão apresentam uma ampla variedade de formas, tamanhos e cores, resultantes de diferenças agrônômicas e tecnológicas, principalmente associadas ao perfil genotípico da planta. Essa diversidade possibilita atender às preferências regionais dos consumidores e adaptar as culturas às condições específicas de cultivo. No Brasil, a classificação do feijão é regida pela Instrução Normativa nº12 de 2008, estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que define os padrões oficiais de identidade, qualidade, amostragem, apresentação e rotulagem do produto. Essa normativa divide o feijão em dois grupos: Grupo I, composto pelo feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), e Grupo II, composto pelo feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp). Dentro desses grupos, os grãos são classificados com base na coloração do tegumento, divididos em quatro classes: branco, preto, cores e feijão misturado, conforme especificações detalhadas. Adicionalmente, a classificação dos tipos de feijão é determinada pelos limites de tolerância a defeitos apresentados pelos grãos (Brasil, 2008).

3.1.1 Importância, produção e consumo

Com o crescimento da população mundial, a oferta de proteína vegetal é uma questão estratégica de segurança alimentar de muitas nações, fator que destaca a importância de alimentos como o feijão na dieta dessas populações. Explorado por pequenos e grandes produtores, o feijão é uma cultura que desempenha um papel social e econômico importante em diversos países, uma vez que é usado como fonte de proteína para grande parte da população mundial, sendo considerado um alimento básico e uma alternativa que pode substituir produtos de origem animal, especialmente em locais em que o consumo de proteína animal é relativamente escasso.

Os maiores produtores mundiais de feijão são: Índia, Brasil, Myanmar, Tanzânia, Uganda e China, respectivamente, responsáveis por mais de 55% do total produzido no mundo. O Brasil segue sendo um importante centro no cenário internacional da produção e consumo de feijão. Em 2022, o país foi responsável por 7,1% de toda área global cultivada com feijões, ocupando a terceira posição entre os países com maior área destinada à produção do grão, ficando atrás somente da Índia e do Myanmar, que representaram cerca de 43% e 7,75% respectivamente. No que concerne à produção, o Brasil ocupa a segunda posição nesse *ranking*, com uma contribuição aproximada de 10% de todo o feijão produzido no mundo no ano de 2022 (Faostat, 2022).

Conforme dados recentes, disponibilizados pela FAO, as importações mundiais de feijão são lideradas pela Índia. Apesar de possuir uma expressiva área plantada com a leguminosa, o elevado consumo e a baixa produtividade das lavouras fazem com que o país recorra às importações. No ano de 2022, a Índia foi responsável por cerca de 18,5% das importações mundiais. Já o Brasil, com o *ranking* atualizado a partir de 2021, deixou de figurar entre os dez maiores importadores de feijão. Em 2022, foram importadas apenas 77 mil toneladas, representando, aproximadamente, 1,9% do total global. Preços atrativos motivaram produtores a investirem na atividade, o resultado foram safras mais abundantes e bem distribuídas ao longo do ano nas regiões produtoras, fatores que dispensaram a necessidade de importações volumosas por parte do Brasil. Quanto às exportações, Myanmar lidera o comércio mundial, respondendo em 2022, por cerca de 31% de todas as exportações mundiais do produto. A Argentina encontra-se na segunda posição, com 8,90%, seguida pelos Estados Unidos e Canadá, com 7,3% e 6,7%, respectivamente (Epagri, 2022; Faostat, 2022).

No Brasil, as regiões produtoras de feijão podem realizar o plantio em três épocas distintas, conhecidas como safras. A primeira safra, denominada safra das águas, ocorre de agosto a novembro, período que marca o início das chuvas e se concentra, principalmente, na região sul do país, com sua colheita realizada entre os meses de novembro e fevereiro. A segunda safra, ou safra da seca, abrange todo o território nacional e se estende de dezembro a março, com colheita entre março e junho. Por fim, a terceira safra, ou safra de inverno, concentra-se, principalmente, no Centro-Oeste, ocorrendo de abril a julho, variando conforme o estado e sendo colhida entre os meses de julho e outubro. Dessa forma, ao longo do ano, há uma produção contínua de feijão em diferentes regiões do Brasil (Silva; Wander, 2023).

De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), na safra anual de 2023/2024, o Brasil registrou uma produção total de 3.026,5 mil toneladas de feijão, provenientes de uma área plantada de 2.799,2 mil hectares. A produção de feijão no país está concentrada em três principais regiões: a primeira, localizada no Sul, responsável por, aproximadamente, 28,6% da produção nacional, formada principalmente pelos estados do

Paraná e Santa Catarina; a segunda, na região sudeste, correspondendo a cerca de 24,36% da produção total, com destaque para os estados de Minas Gerais e São Paulo; e a terceira, na região nordeste, representando 23,39% da produção, constituída especialmente pelos estados da Bahia e Ceará. No âmbito estadual (produção por UF), os principais estados produtores do grão na safra 2023/2024 foram o Paraná, com uma produção de 697,00 mil toneladas (23,03%); seguido por Minas Gerais, com 546,60 mil toneladas (18,06%); Bahia, com 316,30 mil toneladas (10,45%); Mato Grosso, com 297,70 mil toneladas (9,84%), Goiás, com 272,10 mil toneladas (8,99%) e São Paulo, com 179,90 mil toneladas (5,94%) (Conab, 2024).

Em relação ao consumo, o uso de feijão na dieta da população nacional é regionalizado, conforme preferências locais, local de moradia (domicílio rural ou urbano) e condição financeira. Essa diversidade é bem evidente no mercado brasileiro, embora exista preferência regional por determinada coloração do tegumento (casca) dos grãos, feijões do grupo carioca são os mais cultivados no Brasil. Entre os feijões consumidos no Brasil, 56% são do tipo carioca, 21% preto e 3% especiais. Entretanto, o consumo dos grãos apresenta grande variação conforme a região. Estados como Rio de Janeiro, Santa Catarina, parte do Rio Grande do Sul e do Distrito Federal preferem o feijão preto de produção local. Já o grande centro consumidor de São Paulo e algumas outras regiões preferem o feijão carioca e na região nordeste o feijão caupi é mais popular (Usda, 2019; Silva; Wander, 2023).

O Brasil, em função de aspectos culturais e socioeconômicos, se destaca globalmente no consumo desse alimento. Entretanto, nos últimos anos, o consumo interno *per capita* de feijão apresentou uma acentuada redução. Nos anos 1960, o consumo girava em torno de 26 kg/hab/ano. Em meados dos anos 1990, a média era de 19 kg/hab/ano. Atualmente, o consumo *per capita* é em torno de 14 kg/hab/ano (Conab, 2024). A razão para a queda do consumo de feijão pela população nacional é resultado da urbanização, pois tarefas domésticas como cozinhar produtos que necessitem de maior dedicação e tempo deixaram de ser prioridade na rotina familiar. Além disso, com a urbanização, houve um aumento na renda da população, ampliando a classe média no Brasil, gerando uma migração de consumo de feijão para proteínas de origem animal, especialmente a carne de frango (Usda, 2019; Côelho, 2023).

3.1.2 Características nutricionais do feijão

Conhecer a composição dos alimentos é crucial em diversos aspectos. Permite compreender os nutrientes presentes, essenciais para formular dietas adequadas e prevenir

deficiências nutricionais. Além disso, é fundamental para garantir a segurança alimentar, detectando contaminantes prejudiciais à saúde. Na indústria alimentícia, a análise da composição nutricional viabiliza o controle de qualidade, garantindo que os produtos atendam aos padrões exigidos pelos consumidores e as regulamentações da área para esse tipo de alimento. Também é essencial para o desenvolvimento de novos produtos, permitindo que os fabricantes elaborem receitas que correspondam às demandas dos consumidores por alimentos saudáveis, saborosos e sustentáveis. Por fim, assume relevância no contexto regulatório a rotulagem nutricional, promovendo transparência e informação aos consumidores.

De modo geral, as leguminosas são notáveis fontes de diversos nutrientes e desempenham um papel fundamental na dieta humana. Seu consumo regular está associado a uma série de benefícios para a saúde, incluindo a mitigação do risco de doenças crônicas, como diabetes, doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer. Adicionalmente, as leguminosas podem ajudar a controlar o peso corporal, melhorar a saúde digestiva e promover a saciedade (Didinger; Thompson, 2022).

Os grãos de feijão exibem uma composição química bastante diversificada e sujeita a variações conforme a variedade, procedência, localização geográfica, clima, ambiente, características do solo, duração do armazenamento, métodos de processamento e eventuais modificações genéticas. Estudos indicam que, em geral, os grãos de feijão são excepcionais fontes de nutrientes essenciais, tais como proteínas, fibras, minerais e vitaminas, com destaque para o ferro, magnésio, cálcio e vitaminas do complexo B, contribuindo de maneira significativa para uma dieta equilibrada (Hall; Hillen; Robinson, 2017; Navarro et al., 2023).

O teor de carboidratos dos grãos de feijão pode chegar a 70%, predominantemente na forma de amido, polissacarídeos e oligossacarídeos, sendo o amido o componente majoritário, representando cerca de 80% (Zamindar et al., 2013; Grden; Jakubczyk, 2023). Muitos benefícios nutricionais são atribuídos aos carboidratos do feijão. Seu baixo índice glicêmico, resultante do teor de fibras e as particularidades de sua fração amilácea, é amplamente reconhecido. O amido do feijão apresenta baixo índice glicêmico por ser lentamente digerido. Por apresentar resistência à digestão enzimática no intestino delgado, serve de substrato para a fermentação no cólon, benefício importante para a saúde humana (Prolla et al., 2010; Didinger; Thompson, 2022).

Pires et al. (2005), ao trabalharem com 11 cultivares de feijão, verificaram variações no conteúdo de carboidratos entre 68,92 e 76,75%. Dados semelhantes foram observados por Bezzera et al. (2019) que, estudando a composição química de oito diferentes cultivares de feijão, encontraram teores de carboidratos com variações entre 60,33% e 67,46%.

A quantidade média de proteínas do feijão varia entre 200 e 350 g/Kg, ou seja, um teor de cerca de 20% a 35% de proteínas, dependendo da cultivar. Entretanto, o valor nutricional dessas proteínas não é satisfatório, uma vez que não possui todos os aminoácidos essenciais em quantidades significativas (Jourdan; Noreña; Brandelli, 2007; Toledo; Canniatti-Brazaca, 2008). A proteína do grão de feijão pode ser fracionada em três: a proteína solúvel globulina G2, a albumina e a faseolina ou globulina G1. Ao contrário dos grãos de cereais, o feijão praticamente não contém prolaminas e apresenta um teor relativamente baixo de glutelina. No entanto, as principais frações existentes, que são de proteínas solúveis (globulinas e albuminas), representam em média 75% do total de proteínas do feijão (Sgarbieri, 1996; Hall; Hillen; Robinson, 2017).

O teor de proteínas de doze genótipos de feijão comum cru, classes preto e carioca, foi analisado por Silochi et al. (2016b), que apontaram um teor de proteína entre as cultivares variando de 23,78% a 26,74%, para os genótipos da classe preto; 23,37% a 27,31%, para a classe carioca. Resultados similares foram reportados por Marquezi et al. (2017), que ao estudarem as propriedades químicas e funcionais de seis diferentes cultivares de feijão comum brasileiro, obtiveram percentuais médios de teor de proteína de 22,8% para os grãos do grupo carioca e 23,4 % para os grãos do grupo preto.

Nos grãos de feijão, encontram-se entre 3 e 7% de fibras em sua composição, estando esses componentes presentes no tegumento e cotilédone, podendo ser solúveis ou não. A fração solúvel, destacada por sua capacidade de reduzir os níveis de colesterol e de açúcar no sangue, inclui substâncias pécticas, gomas, algumas hemiceluloses e β -glucanas; a fração insolúvel, que desempenha um papel crucial no trânsito intestinal e contribui para a prevenção de doenças gastrintestinais, é composta principalmente por celulose, lignina e a maioria das hemiceluloses (Guerra et al., 2004).

Em estudo conduzido por Kutos et al. (2003), foram encontrados teores médios de fibras alimentares totais em grãos de feijão cru de 23,3%, dos quais 3,5% correspondiam a fibras solúveis e 19,8% fibras insolúveis. Resultados semelhantes foram obtidos por Londero et al. (2008) que, ao investigarem dezenove cultivares de feijão, identificaram médias de 25,04% para fibra bruta, 3,58% para fibra solúvel e 21,46% para fibra insolúvel. Wang et al. (2010) relataram variações média de 14,56% a 21,61 % para o conteúdo de fibra bruta, com a fibra insolúvel variando entre 9,34% e 17,97%, e a fibra solúvel apresentando variações entre 3,64% e 5,21%. De acordo com Marquezi et al. (2017), em um estudo envolvendo seis diferentes cultivares de feijão comum, o teor de fibra insolúvel variou de 11,4% a 20,8%, enquanto o teor de fibra solúvel variou de 1,3% a 2,6%.

Em relação ao teor lipídico, o feijão apresenta pouca quantidade, no qual a composição em ácidos graxos é bastante variável, predominando a quantidade de ácidos graxos

insaturados, que representam cerca de 65% a 87% do total dos lipídeos do feijão. Os mais encontrados são: ácido oleico (7% a 10%), linoleico (21% a 28%) e α -linolênico (37% a 54%) (Chiaradia; Gomes, 1997 Hall; Hillen; Robinson, 2017). Por outro lado, o feijão é uma fonte relativamente boa de vitaminas hidrossolúveis, como tiamina, riboflavina, niacina e folamina, mas apresenta um conteúdo pouco expressivo de vitamina A. Com relação aos minerais, o feijão é rico em potássio, fósforo, ferro, cálcio, cobre, zinco e magnésio (Grden; Jakubczyk, 2023; Navarro et al., 2023). Segundo Díaz et al. (2010), por apresentar altos níveis de minerais essenciais, como ferro, zinco, fósforo e cálcio, o feijão apresenta potencial para combater a anemia causada por deficiência de ferro e outras doenças associadas com micronutrientes que atingem pessoas em todo o mundo.

Ainda, nos grãos, encontram-se outros componentes produzidos naturalmente pelas plantas, conhecidos como compostos fenólicos. Estes, por sua vez, podem desencadear efeitos antinutricionais, os quais têm o potencial de afetar a absorção de nutrientes e exercer impactos na saúde humana. Dentre os compostos presentes no feijão, destacam-se os fitatos, os inibidores de enzimas (tripsina, quimotripsina e α -amilase), bem como as lectinas (fitohemaglutininas), cuja presença pode reduzir a biodisponibilidade de micronutrientes importantes na dieta, como ferro e zinco, além de causar danos às mucosas digestivas ou exercer efeitos tóxicos sistêmicos. Contrastando com esses aspectos, os feijões também se apresentam como fontes de compostos bioativos benéficos, como fibras, fitosteróis, polifenóis e ácido fítico, os quais possuem propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e potencialmente anticancerígenas. Portanto, é importante considerar tanto os efeitos adversos quanto os benéficos desses compostos ao avaliar o papel do feijão na promoção da saúde humana (Campion et al., 2009; Patterson; Curran; Der, 2017).

3.2 Padrões de qualidade sensorial e tecnológica

Um aspecto importante e que deve ser determinado nos grãos de feijão são os padrões de qualidade sensorial e tecnológica, os quais desempenham um papel crucial na percepção dos consumidores. Esses padrões abrangem três vertentes distintas: qualidade comercial, culinária e nutricional. A qualidade comercial refere-se à aparência dos grãos, englobando atributos como cor, brilho, forma e tamanho, os quais exercem uma influência substancial no processo de aquisição do produto por parte dos consumidores. No que concerne às características culinárias desejáveis, avaliadas durante o preparo dos grãos e que

desempenham um papel fundamental na preferência dos consumidores por determinado tipo de produto ou marca, incluem a rápida hidratação, reduzido tempo de cocção, produção de um caldo espesso, sabor e textura. Por sua vez, a qualidade nutricional está intimamente ligada à composição nutricional dos grãos e aos benefícios associados ao seu consumo (Silochi et al., 2021). Ressalta-se que as características de qualidade sensorial e tecnológica dos grãos são influenciadas, em parte, pelo genótipo e são também afetadas por fatores como as condições do ambiente de cultivo durante o desenvolvimento das plantas e dos grãos, processos de beneficiamento pós-colheita, condições de armazenamento e tecnologia de processamento (Corte et al., 2003).

Entre as características que afetam diretamente a aceitação das diferentes cultivares de feijão, o tamanho, o formato, a cor dos grãos e o tempo de preparo se destacam como os principais fatores influenciadores no momento da escolha do produto. Alguns consumidores demonstram preferência por grãos menores e opacos, enquanto outros desejam grãos maiores e com um aspecto brilhante. Grãos de tamanho padrão, com cor clara e livres de defeitos são mais facilmente comercializáveis no mercado, ao passo que grãos com tonalidades escuras, de tamanho reduzido, trincados, quebrados e com alto teor de água, são considerados de qualidade inferior (Ribeiro et al., 2019). Quanto ao tamanho médio dos grãos, o padrão geralmente situa-se entre as peneiras 12 e 13, sendo este preferido tanto pelas empresas empacotadoras quanto pelos consumidores. Isso se deve ao fato de que grãos maiores tendem a expandir mais após a absorção de água e cozimento, resultando em um maior volume de feijão cozido, fazendo com que o consumidor associe grãos maiores a melhor rendimento (Carbonell et al., 2010).

Ribeiro et al. (2019), estudando seis variedades comerciais diferentes de feijão do grupo carioca, com o objetivo de identificar quais traços de qualidade visual determinam a escolha do consumidor para uma determinada marca, verificaram que dois traços de qualidade sensorial de feijão, cor e tamanho do grão, são os mais significativos para os consumidores e são avaliados visualmente. De acordo com a pesquisa, a cor do grão foi o critério inicial de escolha para os participantes (61,54%), com uma preferência por grãos mais claros, seguido pelo tamanho (34,61%) e forma (3,85%). Além disso, 80,77% dos participantes consideraram o tempo de cozimento como o fator determinante na escolha de uma determinada variedade. Kläsener et al. (2020), analisando as características que determinam a escolha do consumidor brasileiro por diferentes tipos de feijão na região Sul do Brasil, observaram que o principal critério considerado pelos participantes na seleção do tipo de feijão preferido foi o hábito de consumo (66%), seguido da cor do grão (30%) e tamanho (4%).

Silochi et al. (2021) enfatizam que a seleção de grãos pelo mercado consumidor é significativamente influenciada por diversos fatores, incluindo tipo, marca e preço. Entretanto,

os aspectos nutricionais, apesar de sua importância inegável para a saúde humana, muitas vezes são subestimados durante o processo de aquisição do produto. Essa constatação ressalta a necessidade de conscientização e educação sobre os benefícios nutricionais dos grãos, a fim de promover escolhas alimentares mais informadas e saudáveis. Além disso, evidencia a importância de estratégias de *marketing* e comunicação eficazes que destaquem não apenas os aspectos sensoriais e comerciais, mas também os valores nutricionais dos grãos, visando uma abordagem mais holística e equilibrada na escolha de alimentos pelos consumidores.

Outros aspectos cruciais relacionados à qualidade tecnológica do feijão incluem os fenômenos *hardshell* (casca dura) e *hard-to-cook* (difícil de cozinhar), os quais surgem como resultado de condições inadequadas de armazenamento ou longos períodos de estocagem. Os grãos classificados como *hardshell* são caracterizados por apresentarem sementes maduras e secas que, ao serem umedecidas, falham em absorver água dentro de um período razoável. Por outro lado, os grãos *hard-to-cook* (HTC) são capazes de absorver água, porém demandam um tempo de cocção prolongado para atingirem a maciez desejada. Esses fenômenos impactam diretamente a qualidade e aceitabilidade dos grãos, pois resultam no endurecimento e no aumento do tempo de preparo dos grãos. Além disso, os compostos presentes no tegumento dos grãos podem sofrer oxidação ou outras mudanças químicas, levando à formação de novos compostos que alteram a cor dos grãos entre outras características tecnológicas e químicas (Bertoldo et al., 2009).

Uma compreensão aprofundada das características dos grãos de feijão que influenciam a escolha do consumidor é de vital importância para toda a cadeia produtiva do grão. Nesse contexto, a demanda por desenvolvimento e produção de cultivares que apresentam características e propriedades tecnológicas atrativas, alinhadas com as preferências do consumidor, torna-se cada vez mais crucial. Isso se deve ao fato de que a cor, o aroma, a textura e o valor nutritivo dos alimentos desempenham um papel determinante na decisão de compra e no consumo por parte dos indivíduos. Assim, a capacidade de oferecer grãos de feijão que atendam aos padrões sensoriais e nutricionais desejados pelo consumidor é essencial para garantir o sucesso e a competitividade no mercado alimentício.

3.2.1 Cocção de feijões

Antes do consumo do grão, é necessário o seu processamento por meio de cozimento, etapa comum tanto aos processos de industrialização quanto ao consumo doméstico. O comportamento dos grãos de feijão frente à cocção, é um fator que exerce grande

interferência na aceitação e no consumo do grão, pois em muitos casos ocorre a preferência por marcas e tipos de grãos que cozinham mais rápido, pois cultivares que apresentam grãos com cozimento mais rápido proporcionam economia de tempo e de energia.

O tempo de cocção dos grãos de feijão é um elemento crítico na preparação culinária desse alimento, exercendo influência direta em sua textura, segurança alimentar, digestibilidade, sabor e aroma. Uma cocção inadequada pode resultar em grãos excessivamente macios ou duros, afetando negativamente a experiência sensorial do consumidor. Além disso, um tempo de cocção adequado é essencial para assegurar a eliminação de micro-organismos patogênicos presentes nos grãos crus, contribuindo, assim, para a garantia da segurança alimentar. A correta cocção dos grãos também facilita a digestão, promovendo a quebra eficiente de amidos e proteínas, tornando os nutrientes mais acessíveis ao organismo. O processo de cozimento é necessário para gelatinizar o amido, aumentar a digestibilidade das proteínas e inativar lectinas e inibidores de tripsina, aspectos cruciais que influenciam diretamente na qualidade nutricional e na saúde do consumidor (Thompson, 2019).

O processo de cocção dos grãos pode ser antecipado pela prática da embebição, na qual os grãos são imersos em água com o intuito de aumentar sua hidratação e facilitar o subsequente processo de cozimento. Estudos conduzidos por Bassett et al. (2021), investigaram o tempo de cozimento de diferentes genótipos de feijão com e sem a etapa de embebição prévia. Constatou-se que os tempos de cozimento foram significativamente reduzidos após 3 horas de embebição e estabilizaram após 6 horas de embebição.

Considerado um dos principais parâmetros de qualidade tecnológica, o tempo de cocção de grãos de feijão é influenciado por uma série de fatores que variam de acordo com a cultivar, características genéticas, tempo transcorrido desde a colheita, condições de armazenamento e o modo de preparo. Katuuramu et al. (2020) investigaram a interação de 15 genótipos de feijão comum e constataram que o tempo de cocção foi amplamente influenciado pelo genótipo. Resultados semelhantes foram observados por Cichy et al. (2019), os quais analisaram 14 genótipos diferentes de feijão cultivados em distintos países e avaliaram o tempo de cocção utilizando dois métodos (com hidratação e sem hidratação prévia). Esses pesquisadores verificaram que o genótipo, o ambiente de cultivo e o método de preparo exercem uma influência significativa sobre o tempo de cocção dos grãos.

Cultivares de feijão que apresentam um tempo de cocção inferior a 25 minutos são consideradas de rápida cocção, uma característica que se destaca especialmente nos grãos recém-colhidos (Santos; Ribeiro; Maziero, 2016; Steckling et al., 2017). Ao estudarem seis diferentes cultivares de feijão carioca, Ribeiro et al. (2019) identificaram tempos de cocção variando entre 12,45 minutos e 28,34 minutos. Kajiwarra, Moda-Cirino, Scholz (2021)

observaram resultados similares, registraram valores oscilando entre 16 e 21,7 minutos para 15 variedades de feijão Andino recém-colhidos.

Embora a cocção dos grãos seja fundamental para alcançar os benefícios nutricionais, a exposição prolongada a altas temperaturas pode comprometer a integridade de alguns nutrientes, impactando negativamente sua retenção durante o processo de cozimento. Isto é atribuído à lixiviação de nutrientes, à degradação de compostos como vitaminas e aminoácidos e à formação de complexos insolúveis, por reações de reticulação induzidas pelo calor, que limitam a digestibilidade dos nutrientes envolvidos (Wainaina et al., 2021). Nesse contexto, grãos de feijão que necessitam de menor tempo de preparo tendem a reter uma maior quantidade de proteínas e minerais. De acordo com Wiesinger et al. (2016), em estudo realizado com diferentes variedades de feijão, aquelas que requeriam menor tempo de cocção exibiram uma notável capacidade de preservação dos nutrientes, além de apresentarem maior biodisponibilidade de ferro.

Um fator crucial que contribui consideravelmente para a alteração do tempo de cocção dos grãos de feijão é a etapa de armazenamento. À medida que os grãos de feijão envelhecem, seu tempo de cozimento tende a aumentar (Coelho et al., 2009). Durante o armazenamento, ocorre a perda de permeabilidade do tegumento dos grãos, o que contribui para elevar o tempo de cocção, fazendo com que o feijão armazenado tenda a cozinhar mais lentamente, resultando em maior consumo de tempo e energia, sendo esses riscos potencializados quando a etapa de armazenamento é realizada em condições inadequadas. Segundo Bassinello (2008), enquanto o tegumento representa cerca de 55% do tempo de cocção nos grãos recém-colhido, esse valor aumenta para mais de 75% nos grãos armazenados, sendo o tegumento a primeira barreira do processo de cocção e o fator responsável pela dureza do grão e pelo aumento no tempo de preparo.

Arruda et al. (2012), em estudo sobre a variação genotípica dos grãos de feijão e os efeitos do período e das condições de armazenamento no tempo de cocção, destacaram a significativa influência das condições de armazenamento sobre o tempo de cocção dos grãos. Silochi et al. (2016b), ao investigarem doze genótipos de feijão comum das classes preto e carioca ao longo de seis meses de armazenamento em condições ambientais, observaram um aumento estatisticamente significativo no tempo de cocção para todos os genótipos, ao final do período de armazenamento. A média geral demonstrou diferença estatisticamente significativa entre os dois períodos analisados, com variação de 16,97 minutos no início do armazenamento para 39,50 minutos ao final do período de armazenamento.

O tempo de cocção dos grãos de feijão é uma característica que desempenha um papel importante na preferência do consumidor. A identificação de linhagens com menor tempo de cocção e que mantenham a qualidade nutricional dos grãos após o processo de

cozimento é fundamental para obtenção de grãos com qualidade tecnológica com maior aceitação pelo mercado consumidor. Além de realçar os sabores naturais, um tempo de cocção adequado também contribui para o desenvolvimento de aromas e texturas agradáveis, melhorando a experiência sensorial das refeições. Portanto, compreender e controlar o processo de cocção dos grãos é essencial para garantir a qualidade nutricional, sensorial e a segurança alimentar dos grãos de feijão.

3.2.2 Cor em grãos de feijão

As preferências dos consumidores representam critérios de extrema importância na orientação da seleção e obtenção de novas cultivares, exigindo destas não apenas boas características agrônomicas, mas também atributos de cor que confirmem valor comercial no varejo. Conforme destacado por Giese (2000), a mensuração da cor é um parâmetro utilizado como índice de qualidade para os alimentos, tanto *in natura* quanto processados, e é empregada na avaliação de alterações na qualidade decorrentes de processamentos e armazenamento dos produtos. Em produtos agrícolas, a mudança de cor está frequentemente associada às características de qualidade, uma vez que a alteração na coloração é um atributo facilmente identificável e que impacta imediatamente na aceitação de um produto pelo consumidor (Faroni et al., 2006).

Os grãos de feijão sofrem alterações em suas características de cor, por diversos fatores, dos quais se destaca o período de armazenamento. O escurecimento pós-colheita do tegumento do feijão é uma das características indesejáveis no processo de comercialização do grão, que têm como consequência perdas para o produtor, o exportador e os distribuidores. Por exemplo, grãos de feijões do grupo carioca apresentam como características físicas grãos de cor creme e listras marrons, entretanto, ao longo do armazenamento, o escurecimento do tegumento pode ocorrer. Esse fenômeno leva o consumidor a associar o escurecimento do grão ao seu envelhecimento e, conseqüentemente, à perda de qualidade, o que reduz a aceitação do produto e diminui seu valor comercial (Ribeiro et al., 2019; Silochi et al., 2021).

As cores são percebidas e analisadas em três dimensões distintas: luminosidade, que descreve a relação entre a luz refletida e absorvida; coloração ou tonalidade cromática, que representa o aspecto específico da cor; croma, que expressa a intensidade da cor. Essas dimensões são organizadas no espaço físico de acordo com diferentes sistemas de cor, incluindo os sistemas Cie, Hunter, Munsell e CIELAB. Entre esses, destaca-se o sistema $L^*a^*b^*$ ou CIELAB 1976 (Comissão Internacional de Iluminantes), sendo amplamente aceito entre os pesquisadores, em diversas áreas de aplicação. No espaço de cor do sistema CIELAB, são

medidas as coordenadas de cor a^* e b^* , juntamente com o índice de luminosidade (L^*). O parâmetro de cor a^* representa valores positivos para tonalidades avermelhadas e valores negativos para tonalidades esverdeadas, enquanto o parâmetro b^* assume valores positivos para tons amarelos e negativos para tons azuis. A luminosidade é o componente que descreve a cor em termos de tonalidades mais claras ou mais escuras, sendo expressa em uma escala de zero a 100, em que zero representa preto absoluto e 100 representa o branco absoluto (Granato; Masson, 2010).

Outra forma de visualização utiliza o espaço de cor com coordenadas cilíndricas. A conversão das coordenadas retangulares para este formato é realizada conforme apresentado nas Equações 1 e 2. O atributo de cor H^* (Equação 1), que representa a tonalidade, está diretamente relacionado com as diferenças de absorbância em diferentes comprimentos de onda. Por sua vez, o parâmetro croma C^* (Equação 2), que indica a intensidade ou cromaticidade da cor da amostra, é determinado com base nos resultados dos atributos a^* e b^* . Valores mais elevados de croma correspondem a uma maior intensidade de cor das amostras percebida pelos seres humanos (Granato; Masson, 2010):

$$H^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad 1)$$

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

em que:

H^* = ângulo de coloração ou tonalidade cromática;

a^* = componente de cor vermelho-verde;

b^* = componente de cor amarelo-azul;

C^* = cromaticidade.

Outro parâmetro de grande relevância intrínseco aos atributos de cor é a diferença de cor, cujo cálculo pode ser realizado conforme a Equação 3 (Silva et al., 2007). A análise da diferença de cor visa comparar a cor de um produto específico a um padrão pré-estabelecido. Esse tipo de avaliação da cor é importante em uma variedade de processos industriais na área de alimentos, desempenhando um papel crítico na verificação das alterações que ocorrem após os tratamentos aos quais os produtos são submetidos. Trata-se de uma ferramenta valiosa para avaliar a qualidade ao longo da produção. Essas medidas proporcionam uma compreensão objetiva e quantitativa das mudanças na cor, permitindo uma avaliação dos resultados dos processos industriais ou experimentais. Ao comparar a cor de diferentes formulações ou tratamentos, os pesquisadores podem avaliar a eficácia de novos

ingredientes, processos ou tecnologias na obtenção do produto desejado. Isso pode incluir a busca por opções que mantenham ou melhorem a cor do produto final, o que é vital para a aceitação pelo consumidor.

$$\Delta e^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

em que:

Δe^* = diferença de cor em relação a um padrão ou controle;

ΔL^* = diferença entre a luminosidade da amostra em relação ao padrão ou controle;

Δa^* = diferença entre o componente a^* da amostra em relação ao padrão ou controle;

Δb^* = diferença entre o componente b^* da amostra em relação ao padrão ou controle;

Silochi et al. (2016a) investigaram os parâmetros de cor de três cultivares de feijão carioca, examinando o impacto do tempo de armazenamento na qualidade dos grãos. Os autores observaram diferenças significativas nos parâmetros de cor entre as cultivares, ao longo do período de armazenamento. O armazenamento em condições ambientais resultou em redução dos parâmetros de brilho do grão, caracterizados por escurecimento e endurecimento. Coelho et al. (2020), em um estudo realizado sobre o perfil químico do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) Pinto (IAC Imperador), armazenado em diferentes condições de O_2 (0,04 e 9%), CO_2 (1,5 e 21%) e umidade relativa (40 e 70%), verificaram que ocorre escurecimento do tegumento do feijão quando submetido à alta umidade relativa durante o armazenamento.

Ao analisarem os parâmetros de propriedades tecnológicas de grãos de feijão BRS Pontal e BRS Madrepérola, em condições de armazenamento à temperatura ambiente ($22 \pm 3^\circ C$), sem controle de umidade (<65% de umidade relativa), Alves et al. (2021) identificaram diferenças significativas nos valores de luminosidade (L^*) e cromaticidade (C^*). Essas diferenças foram observadas tanto em relação ao genótipo quanto ao período de armazenamento, caracterizadas por redução linear dos valores de L^* e aumento dos valores de C^* em função do tempo de armazenamento.

Bento et al. (2020) examinaram os mecanismos de escurecimento e endurecimento em diferentes variedades de grãos de feijão carioca e registraram alterações nos valores de luminosidade (L^*), H^* (ângulo de matiz) e Croma (C^*). Os valores de L^* e do ângulo de matiz (H^*) diminuíram linearmente com tempo de armazenamento, com variações médias do início ao final dos 180 dias de 53,53 a 48,42 para L^* e de 69,56 a 64,39 para o H^* . Já os valores de croma (C^*) apresentaram um aumento variando entre 19,10 e 20,82, do início ao final do período de armazenamento, respectivamente. Os valores relatados pelos autores para o

parâmetro Luminosidade (L^*) no início do armazenamento, estão próximos do valor médio de 53,00, considerado como padrão para grãos de feijão do grupo carioca (Carneiro; Soares; Costa, 2000).

Parâmetros de cor de grãos e aceitabilidade de diferentes cultivares de feijão comum foram analisados por Ribeiro et al. (2019), os quais registraram valores médios de L^* variando entre 48,06 e 52,87, valores de a^* com variações entre 4,04 e 7,18 e b^* de 13,83 a 18,12. Além disso, os autores observaram que grãos mais escuros, ou seja, com menor luminosidade ($L^*= 48,06$), apresentam maior tempo necessário para a cocção. Kläsener et al. (2020), em estudo realizado com seis variedades de feijão de diferentes cores, constataram que grãos mais claros apresentaram maior valor de luminosidade, enquanto grãos mais escuros têm valores de luminosidade menores.

Em síntese, a cor de um alimento desempenha um papel crucial na percepção e aceitação pelo consumidor. É o atributo sensorial primário que pode determinar a escolha de compra e o consumo do produto. Além disso, a cor também oferece informações importantes sobre a qualidade tecnológica e nutricional dos alimentos. Portanto, compreender e gerenciar a cor dos alimentos é essencial para garantir sua atratividade, aceitação e valor nutricional no mercado.

3.3 Processamento do feijão

Diante das transformações no panorama socioeconômico do Brasil, a cadeia produtiva do feijão, nas últimas décadas, registrou um acentuado decréscimo no consumo. Nesse contexto, torna-se imperativo que todos os agentes envolvidos nessa cadeia busquem alternativas mais alinhadas às exigências do consumidor. Isso pode ser alcançado por meio da agregação de valor via processamento na indústria, oferecendo produtos semiprontos com reduzido tempo de preparo.

O projeto *Pulse Canada* exemplifica uma iniciativa direcionada a atender à demanda global por alimentos, alinhada às crescentes expectativas dos consumidores quanto à praticidade no preparo dos alimentos. Além de focar atividades na área de genética e melhoramento, com vistas à qualidade e produtividade das leguminosas, o projeto também se dedica ao desenvolvimento de métodos de processamento e à criação de novos produtos de cozimento rápido, direcionados a mercados específicos, como aqueles voltados para dietas isentas de glúten. Notáveis investimentos em pesquisa estão sendo destinados à obtenção

de uma compreensão mais abrangente da funcionalidade e ao refinamento da tecnologia de processamento de alimentos, a fim de atender às demandas de diversos segmentos finais de consumo, com a perspectiva de estimular uma nova procura por leguminosas (Pulse Canada, 2024).

Segundo Uebersax e Siddiq (2013), diversas estratégias de processamento têm o potencial de agregar valor ao feijão, com ênfase no enlatamento e na produção de produtos pré-cozidos, como feijão desidratado, congelado, extrudado, farinhas e concentrados proteicos. O enlatamento representa uma alternativa de conveniência no mercado de alimentos, oferecendo maior comodidade aos consumidores no preparo de suas refeições em comparação com o feijão seco, que demanda um tempo significativo de cocção. O processamento industrial de grãos por meio de enlatamento é uma prática comum e com grande aceitação em muitos países que possuem um hábito consolidado de consumo desse tipo de produto. No entanto, no Brasil, o consumo de feijão processado industrialmente ainda é muito baixo, devido ao hábito do processamento doméstico (Schoeninger et al., 2020).

Outra técnica de processamento que pode ser empregada em leguminosas e que apresenta grande potencial em atender à preferência do consumidor brasileiro por grãos secos, é a que visa obter um produto processado seco e de cozimento rápido. O objetivo dessa técnica é reduzir o tempo de preparo para os consumidores doméstico e a ideia básica é a de grãos submetidos a processamento, seguido da secagem, visando apresentar ao consumidor um produto seco, com aspecto visual parecido ao grão *in natura* encontrado no mercado. Embora esse processo ainda não seja empregado industrialmente em larga escala, ele possui potencial para, no futuro, integrar o grupo de alimentos à base de feijão presentes no mercado, uma vez que os grãos processados e secos podem ser uma alternativa de rápida preparação, além de promover o consumo do feijão (Paz et al., 2023).

A pesquisa em torno do feijão seco de cozimento rápido está focada, principalmente, em duas áreas: redução do tempo de preparo e a minimização dos defeitos estruturais. É crucial que o tempo de preparo do feijão processado seja relativamente curto, para atrair os consumidores para o produto, não devendo ser esse tempo mais do que 10 a 20 minutos em água fervente. Além disso, é essencial manter outra característica de qualidade tecnológica: a porcentagem de grãos inteiros após o processo. Esse aspecto é fundamental, pois o aumento no nível de dano nos grãos após o processamento, podem levar à rejeição do produto pelos consumidores (Schoeninger et al., 2020).

As etapas que envolvem o processamento do feijão seco de cozimento rápido podem ser: o branqueamento, a hidratação (maceração) e a secagem. A etapa de branqueamento, envolve a aplicação de um tratamento térmico de alta temperatura e curta duração sobre os grãos, realizado antes de qualquer processo de preservação, como secagem, enlatamento ou

congelamento, determinando em grande parte a qualidade do produto. Conforme destacado por Xiao et al. (2017), o branqueamento é caracterizado como um tratamento térmico brando, empregando temperaturas situadas na faixa de 70 a 100 °C, por alguns minutos, com posterior resfriamento para evitar que o produto permaneça por mais tempo na temperatura elevada, sendo uma técnica empregada tanto em ambientes industriais quanto domésticos. O principal objetivo do processo de branqueamento de leguminosas e vegetais é a inativação de enzimas, a remoção de gases da superfície e de espaços intracelulares, visando evitar a oxidação e a descoloração do produto. Além disso, destaca-se o benefício adicional da redução de micro-organismos patogênicos e deterioradores nos alimentos (Yucel; Alpas; Bayındırlı, 2010).

A aplicação do branqueamento em grãos de feijão, prévia à etapa de hidratação, contribui para o aumento da plasticidade do tegumento, resultando em um produto que se hidrata rapidamente, contribuindo na redução do tempo de cozimento (Abu-Ghannam, 1998). Segundo Uрга et al. (2006), o processo de branqueamento em grãos de leguminosas exerce um efeito significativo na taxa de absorção de água, devido às modificações que promove na integridade do tegumento, incluindo o rompimento do hilo, o que facilita o acesso mais rápido da água. Gowen et al. (2007), em estudo sobre o efeito do branqueamento e hidratação na absorção de água e na textura de grãos de feijão, observaram maior capacidade de hidratação dos grãos quando submetidos ao processo de branqueamento prévio.

A hidratação em grãos de feijão é a etapa que antecede o cozimento, tradicionalmente realizada pelos consumidores, durante um período de algumas horas, permitindo a absorção gradual de água, facilitando a etapa de cozimento e garantindo a maciez ao produto. De acordo com Zhao e Chang (2008), a hidratação por longos períodos em condições de baixa temperatura aumenta a distribuição da celulose na parede celular e promove o amaciamento do produto. A maior capacidade de absorção de água pelos grãos de feijão tem sido relacionada, de forma direta, ao menor tempo de cocção, devido à existência de correlação negativa entre a absorção de água pelos grãos e o tempo de cocção, ou seja, quanto maior for a absorção de água, menor será o tempo de cozimento do grão. Grãos de feijão que absorvem mais água tendem a apresentar tempo de cozimento menor, enquanto os que demandam mais tempo para cozinhar tendem a absorver menos água (Rodrigues et al., 2005; Bertoldo et al., 2009).

Pinto et al. (2020), ao avaliarem os atributos qualitativos de treze cultivares de feijoeiro do grupo comercial carioca, observaram que, em geral, os grãos com maior capacidade de absorção de água demandaram menos tempo para a cocção. Resultados congruentes foram obtidos por Souza et al. (2019) que, ao investigarem quatro cultivares de feijão (BRSMG Madrepérola, BRSMG Majestoso, IAC Alvorada e Pérola), verificaram que a cultivar BRSMG

Madrepérola, com a mais alta taxa média de hidratação, apresentou o menor tempo de cozimento para os grãos. A literatura tem apontado para a relação entre o percentual de absorção de água e o tempo de cocção com uma média para a absorção de água pelo grão superior a 80%, associado a uma rápida cocção (Siloichi et al., 2016a; Alves et al., 2020).

A possibilidade de reduzir o tempo de cocção dos grãos de feijão por meio da hidratação abriu caminho para o desenvolvimento de metodologias alternativas com o mesmo propósito. Uma dessas abordagens envolve a combinação da hidratação dos grãos de feijão com processos químicos, como por exemplo, adição de sais com o objetivo de reduzir o tempo de cocção dos grãos. Schoeninger et al. (2014), ao investigarem os efeitos do processamento de grãos de feijão por meio de branqueamento e imersão em diferentes concentrações de NaCl e NaHCO₃, observaram redução significativa no tempo de cocção dos grãos após a imersão nas diferentes soluções. Resultados similares foram encontrados por Wacu et al. (2015), que avaliaram a adição de Na₂CO₃ na hidratação de grãos de feijão envelhecidos das cultivares Rose Coco e Red Kidney e observaram redução no tempo de cocção de 75% para o Rose Coco e 70% para o Red Kidney.

Paz et al. (2023), com o intuito de processar grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) de cozimento rápido, empregaram a hidratação dos grãos em soluções contendo NaHCO₃, Na₂CO₃ e K₂CO₃. Os autores verificaram que ocorreu uma redução significativa no tempo de cocção dos grãos quando essas soluções foram utilizadas em conjunto no processo de hidratação dos grãos. Kwofie et al. (2019), ao estudarem a adição de K₂CO₃ no processamento de duas cultivares de feijão, observaram que a adição de 5% de cloreto de potássio na água de hidratação dos grãos reduziu significativamente o tempo de cozimento em até 115 minutos.

O processamento do feijão pode oferecer uma série de vantagens, incluindo a valorização do produto e o aumento da lucratividade tanto para os agricultores quanto para os fabricantes de alimentos. Embora a presença de produtos industrializados no mercado e o número de indústrias que realizam algum tipo de processamento ainda sejam limitados, esse segmento apresenta um potencial significativo de expansão. Superar as barreiras tecnológicas e culturais é fundamental. Investir em estudos sobre as características e processos para a elaboração de novos produtos é crucial para que as indústrias possam atender às demandas dos consumidores contemporâneos. É essencial que as empresas alimentícias, em parceria com institutos de pesquisa e universidades, concentrem esforços no desenvolvimento de produtos inovadores que sejam não apenas economicamente viáveis e de fácil acesso, mas também de preparo simplificado, mantendo padrões elevados de qualidade.

3.3.1 Alterações pós-processamento

As alterações decorrentes das fases de processamento às quais um determinado produto é submetido são de grande preocupação para as indústrias alimentícias, uma vez que exercem um impacto significativo na qualidade e no valor nutricional dos produtos. Em grãos de feijão processados, os consumidores buscam certas características, como textura, integridade do feijão, cor e aparência, digestibilidade, conveniência e economia de energia no momento da preparação. Contudo, durante o processamento de alimentos, uma série de reações oxidativas podem ser desencadeadas, resultando no escurecimento, na perda ou alteração do sabor, odor e textura, além da perda do valor nutritivo, devido à destruição de vitaminas e ácidos graxos essenciais (Araújo, 2012).

No processo para obtenção de grãos de feijão seco de cozimento rápido, as etapas que compreendem o processamento do grão (branqueamento, hidratação e secagem), geralmente resultam em dois principais defeitos tecnológicos: alteração de cor dos grãos e aumento de defeitos estruturais no produto processado. A mudança de cor dos grãos processados está diretamente relacionada às etapas de branqueamento e hidratação, as quais, quando realizadas em conjunto com a utilização de soluções químicas, aumentam significativamente a diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle (Pan et al., 2010; Schoeninger et al., 2014; Paz et al., 2023).

Em estudo conduzido por Schoeninger et al. (2014), observou-se que a adição de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) e cloreto de sódio (NaCl) durante o processo de hidratação dos grãos de feijão carioca resultou no escurecimento do tegumento dos grãos. Kinyanjui et al. (2016), ao investigarem a adição de carbonato de sódio (Na_2CO_3) no processo de hidratação de quatro variedades de feijão, constataram redução na luminosidade e escurecimento dos grãos. Resultados semelhantes foram encontrados por Buzera et al. (2018), em relação ao efeito desse mesmo sal na maceração de grãos de feijão biofortificados, em que os grãos imersos em solução contendo Na_2CO_3 apresentaram coloração mais escura em comparação com os grãos que foram imersos apenas em água.

Os efeitos das soluções químicas utilizadas para a redução do tempo de cocção, em relação à alteração de cor dos grãos, podem ser explicados pelo aumento do pH das soluções, o que acelera a ocorrência de reações de escurecimento enzimático e não enzimático. A reação de escurecimento enzimático pode ser atribuída à atividade da enzima polifenol oxidase (PPO), que inicia o escurecimento pela oxidação de compostos fenólicos, resultando na formação de quinonas que, por sua vez, se condensam rapidamente, formando pigmentos escuros insolúveis, denominados melanina. O valor de pH ótimo para a atividade da PPO

encontra-se acima de 6, sendo que a enzima é inativa em pH 4,0 ou abaixo. Por outro lado, o escurecimento não enzimático pode ser resultado da reação entre carbonilas e grupos amina livres, levando à formação de pigmentos denominados melanoidina. A intensidade das reações não enzimáticas aumenta quase que linearmente na faixa de pH 3 a 8 e atinge descoloração máxima na faixa alcalina de pH 9 a 10 (Fennema, 1996).

Segundo Araújo (2012), as reações de escurecimento podem ser controladas por diferentes métodos, como: a inativação térmica, exclusão ou remoção de oxigênio, redução do pH e a adição de substâncias redutoras, conhecidas como agentes redutores. Alternativas práticas para prevenir o escurecimento durante o processamento de alimentos incluem a aplicação de calor, como no branqueamento (temperatura elevada/tempo curto), que inativam a polifenol oxidase (PPO) e outras enzimas, e o uso de agentes químicos capazes de bloquear as reações. Entre os compostos úteis para inibir a atividade da PPO, os mais comuns são o sulfito, ácido ascórbico e seus derivados (ácido eritórbito e eritorbato de sódio) e compostos contendo SH, como L-cisteína, N-acetil-L-cisteína, etil ou metil L-cisteína e glutatona reduzida.

Dentre as substâncias químicas redutoras, o sulfito é o de uso mais frequente no controle de escurecimento em operações de processamento nas indústrias de alimentos. A utilização de sulfito em níveis adequados antes da desidratação, além de inibir as reações de escurecimento, permite a utilização de temperaturas mais elevadas, diminuindo o tempo do processo de secagem, bem como aumenta a vida de prateleira do produto (Celestino, 2010). Conforme Xiao et al. (2017), para preservar a cor do produto e inativar a atividade microbiana, o sulfito de sódio e o metabissulfito de sódio são frequentemente adicionados à etapa de branqueamento, durante o processamento de alimentos.

O aumento dos defeitos estruturais no produto após o processamento, especialmente no caso do feijão seco, está associado principalmente à etapa de secagem, pois, quando se busca obter grãos de feijão na forma seca, a secagem é empregada para reduzir a quantidade de água absorvida pelo grão durante o processo. A etapa de secagem não apenas influencia diretamente na umidade final do feijão processado, mas também afeta a ocorrência de defeitos no produto. Zhao e Chang (2008) destacam que a separação entre os cotilédones e as fissuras no tegumento do feijão está relacionada, principalmente, com as interações entre as pressões de vapor presentes no grão e no ar de secagem.

Schoeninger et al. (2014), em estudo sobre a otimização de parâmetros de processamento para obtenção de grãos de feijão seco de cozimento rápido, observaram que a etapa de secagem afetou significativamente o índice de dano do produto processado. Uma alteração de temperatura de 40 para 60 °C durante a secagem resultou em um aumento de 1,29% no número de grãos partidos e quebrados. Além disso, constatou-se que temperaturas

em torno de 55 °C representam a condição de processo que minimiza o nível de dano nos grãos após o processamento.

O menor índice de danos nos grãos de feijão após as etapas de processamento pode estar relacionado também com a qualidade da matéria-prima utilizada. Com o objetivo de obter uma matéria-prima de melhor qualidade, Pan et al. (2010) sugerem que os grãos podem ser classificados antes de receberem o processamento, por meio de métodos como a detecção de impacto acústico e a separação por densidade, os quais permitem a utilização somente dos grãos com menor probabilidade de apresentarem danos após o processo.

O processamento de grãos de feijão, apesar de empregar técnicas alternativas visando tornar o produto mais atrativo para os consumidores, pode acarretar mudanças indesejáveis nos parâmetros de qualidade. Esses parâmetros são críticos para a aceitação do produto no mercado consumidor. É essencial para as indústrias alimentícias desenvolverem técnicas de processamento que minimizem esses efeitos adversos, garantindo que os produtos atendam aos padrões de qualidade e às expectativas dos consumidores. Nesse sentido, os estudos acerca do impacto das técnicas de processamento revestem-se de significativa importância, contribuindo para viabilizar o desenvolvimento de novos produtos e aprimorar as práticas industriais.

3.4 Ozônio no processamento de alimentos

A garantia da qualidade de produtos alimentícios demanda um processamento meticuloso e controlado, que abrange desde a seleção da matéria-prima até a entrega ao consumidor final. Em resposta à crescente demanda de consumidores por produtos mais seguros e ambientalmente sustentáveis, as indústrias de processamento de alimentos têm intensificado seus esforços em pesquisas direcionadas ao desenvolvimento de novas técnicas e métodos que visem garantir a qualidade dos produtos, minimizando resíduos. Com o avanço das tecnologias, o tratamento com ozônio emerge como uma opção promissora, reconhecida por sua sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. A aplicação do ozônio tem experimentado uma expansão considerável em diversas áreas de atuação, impulsionada por suas propriedades germicidas, bactericidas e de limpeza química, aliadas ao baixo custo, portabilidade e facilidade de operação dos ozonizadores (Lima; Felix; Cardoso, 2021).

O gás ozônio (O₃) foi identificado e nomeado pelo químico suíço Christian Friedrich no século XIX. Sua primeira aplicação como agente conservante de alimentos ocorreu em 1909,

quando foi utilizado em câmaras frias para armazenamento de carnes. No entanto, sua adoção na indústria de alimentos foi limitada, principalmente devido ao custo comparativamente elevado em relação a outras substâncias, como o cloro. Somente em 1982, o ozônio foi reconhecido como uma substância segura (*Generally Recognized as Safe* – GRAS) pelo *Food and Drug Administration* (FDA), com autorização para uso como sanitizante em água engarrafada. Em 2001, recebeu aprovação para contato direto com alimentos. A partir desse marco regulatório, cresceu o interesse na aplicação de ozônio no processamento de alimentos, especialmente devido à sua eficácia em baixas concentrações, tempo de contato reduzido e capacidade de se decompor em produtos não tóxicos, tornando-se uma alternativa atraente ao tratamento convencional à base de cloro (Coelho et al., 2015; Pandiselvam et al., 2020).

Composto por três átomos de oxigênio, o ozônio é gerado quando o oxigênio molecular (O_2) reage com um radical livre de oxigênio. Em condições de temperatura ambiente e baixas concentrações, o ozônio é incolor. Por outro lado, em concentrações elevadas, adquire uma tonalidade azulada. Esse gás possui um odor penetrante e é facilmente detectável mesmo em concentrações muito baixas (Silva; Valle; Venâncio, 2013). Em ambiente com pH elevado, ocorre aceleração da decomposição do ozônio, resultando na formação de diferentes compostos oxidantes com reatividades distintas, como os radicais livres hidroxila, conhecidos por seu alto poder de oxidação (Di Bernardo; Dantas, 2005). Além do pH, fatores como temperatura, radiação ultravioleta e a presença de catalisadores à base de paládio, manganês e óxido de níquel, assim como metais, óxidos de metais, hidróxido e peróxidos, também contribuem para a decomposição acelerada do ozônio (Wysok et al., 2006).

A esterilização por ozônio pode ser conduzida tanto na fase gasosa quanto na fase aquosa. A eficiência de aplicação é influenciada por diversas variáveis, incluindo o método de tratamento, concentração do gás, tempo de exposição, presença de microrganismos ou contaminantes e o tipo específico de produto. O processo de formação do ozônio compreende dois estágios sequenciais: a divisão e a combinação da molécula de oxigênio. Inicialmente, a molécula de oxigênio se divide em dois radicais livres de oxigênio de alta energia, os quais então se combinam com o oxigênio, por meio de calor ou luz, para formar moléculas de ozônio. A geração de ozônio pode ser realizada por meio de dois métodos principais: descarga corona e radiação ultravioleta, ambos resultando na produção de ozônio. O excesso de ozônio é eliminado por meio de um destruidor, no qual é aplicado um catalisador apropriado, como o óxido de magnésio, para acelerar sua degradação (Niveditha et al., 2021).

O ozônio, devido ao seu efeito antimicrobiano combinado com sua capacidade de oxidação, é uma ferramenta promissora no processamento de alimentos. Nos últimos anos, sua aplicação tem sido amplamente adotada em diversos usos, como tratamentos pós-

colheita, armazenamento e processamento de uma variedade de produtos alimentícios. O uso do ozônio nas indústrias de alimento visa não apenas garantir a higiene durante o processo, mas também aprimorar características sensoriais, como cor, odor e aspecto visual dos alimentos, evitando a utilização de agentes químicos que possam deixar resíduos indesejáveis e desencadear reações secundárias prejudiciais à saúde. Além de suas propriedades desinfetantes, o ozônio tem sido empregado em diversas outras aplicações no processamento de alimentos. Isso inclui a remoção de resíduos de pesticidas (Freitas et al., 2017; Souza et al., 2018; Rodrigues et al., 2019), fumigação de grãos (Ribeiro et al., 2021; Abreu et al., 2022; Uzoma et al., 2024; Siteo et al., 2024), preservação baseada em armazenamento de produtos frescos (Alves et al., 2019; Gibson et al., 2019) e a higienização de filmes de embalagem e equipamentos utilizados no processamento (Guzel-Seydim; Greene; Seydim, 2004).

Novos campos de aplicação do ozônio estão sendo explorados, com um enfoque especial na preservação da qualidade de produtos de origem vegetal. Uma dessas aplicações emergentes envolve a inativação de enzimas responsáveis por perdas nutricionais e deterioração da qualidade em alimentos crus e processados. Embora os tratamentos térmicos e químicos sejam métodos convencionais para inativação enzimática, eles podem afetar negativamente as características organolépticas dos alimentos e resultar em perdas nutricionais, além de levantar preocupações quanto à segurança alimentar. Essas limitações impulsionam o interesse por tecnologias não térmicas, como o tratamento com ozônio, como uma alternativa mais sustentável, segura e econômica. O ozônio pode influenciar a atividade de diversas enzimas, como amilase, polifenol oxidase e catalase, tanto diretamente quanto indiretamente por meio de reações com o ozônio ou seus subprodutos decompostos. Essa abordagem oferece uma perspectiva promissora para o uso do ozônio como uma ferramenta eficaz de inativação enzimática na indústria de alimentos (Khanashyam; Shanker; Pandiselvam, 2023).

Assim como em outras tecnologias, é crucial considerar os diferentes efeitos ao explorar o uso do ozônio. Dependendo da concentração de O_3 e do tempo de exposição, essa tecnologia pode resultar em perdas, como alterações nos atributos sensoriais, mudanças de cor, oxidação lipídica e degradação de compostos fenólicos e vitaminas. No entanto, é importante ressaltar que essas alterações são influenciadas pela composição química do alimento, pela quantidade de ozônio utilizada e pelas condições do tratamento aplicado, sendo esses fatores aspectos relevantes a serem considerados em pesquisas que visam promover a adoção do ozônio (Sujayasree et al., 2022).

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. O.; FARONI, L. R. A.; SILVA, M. V. A.; SOUSA, A. H.; ALENCAR, E. R.; SILVA, G. N. Ozone as an alternative fumigant for controlling *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) in cowpea beans. **Journal of Stored Products Research**, v. 97, A. 101969, 2022.
- ABU-GHANNAM, N. Interpretation of the force deformation curves of soaked red Kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, Manchester, v. 33, p. 509-515, 1998.
- ALMEIDA, T. C.; CANÉCHIO FILHO, V. **Principais culturas**. 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1987. 511 p.
- ALVES, H.; ALENCAR, E. R.; FERREIRA, W. F. S.; SILVA, C. R.; RIBEIRO, J. L. Aspectos microbiológicos e físico-químicos de morango exposto ao gás ozônio em diferentes concentrações durante o armazenamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, e2018002, 2019.
- ALVES, M. V. P.; FILLA, V. A.; COELHO, A. P.; LEAL, F. T.; BETTIOL, J. V. T.; LEMOS, L. B. Desempenho agrônomo e qualitativo de cultivares de feijoeiro dos grupos comerciais carioca e especial na época de inverno. **Revista de La Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 119, n. 1, p. 1-8, 2020.
- ALVES, N. E. G.; GOMES, M. J. C.; VASCONCELOS, C. M.; LIMA, A. C.; LIMA, S. L. S.; BRITO, E. S.; BASSINELLO, P. Z.; MARTINO, H. S. D. Six months under uncontrolled relative humidity and room temperature changes technological characteristics and maintains the physicochemical and functional properties of carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Chemistry**, v. 342, 128390, 2021.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. 601 p.
- ARRUDA, B.; FUIDOLIN, A. F.; COIMBRA, J. L. M.; BATTILANA, J. Environment is crucial to the cooking time of beans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 573- 578, 2012.
- BASSETT, A.; HOOPER, S.; CICHY, K.; Genetic variability of cooking time in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) related to seed coat thickness and the cotyledon cell wall. **Food Research International**, v. 141, A. 109886, 2021.
- BASSINELLO, P. Z. Qualidade na escolha de variedades de feijão para o mercado consumidor. **Atualidades em microtoxinas e armazenagem qualitativas de grãos II**, 1. ed. Florianópolis: Imprensa Universitária, 2008. 586 p.
- BENTO, J. A. C.; LANNA, A. C.; BASSINELLO, P. Z.; OOMAH, B. D.; PIMENTA, M. E. B.; CARVALHO, R. N.; MOREIRA, A. S. Aging indicators for stored carioca beans. **Food Research International**, v. 134, A.109249, 2020.

BERTOLDO, J. G.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; ROCHA, F. Tempo de cocção de grãos de feijão em função de doses de fósforo no plantio e do tempo de armazenamento. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 39-47, 2009.

BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; SANTOS, A. F.; FARIAS, E. T. R.; LOPES, M. F.; SOUZA, A. S. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v. 14, n. 1, p. 41-47, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008. Propõe o regulamento técnico do feijão. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília - DF, 2008. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=294660055>. Acesso em: 2 fev. 2024.

BUZERA, A.; KINYANJUI, P.; ISHARA, J.; SILA, D. Physical and cooking properties of two varieties of bio-fortified common beans (*Phaseolus Vulgaris*. L) grown in DR Congo. **Food Science and Quality Management**, v. 71, p. 1-12, 2018.

CAMPION, B.; PERRONE, D.; GALASSO, I.; BOLLINI, R. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines devoid of major lectin proteins. **Plant Breeding**, v. 128, p. 199-204, 2009.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; GONÇALVES, J. G. R.; PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L. C. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 10, p. 2067-2073, 2010.

CARNEIRO, G. E. S.; SOARES, D. M.; COSTA, J. G. C. **Resultados do ensaio sul-brasileiro de avaliação de linhagens de feijão nos anos 1997/98 e 1998/99**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão 2000. (Documentos 102) 77 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/207877>. Acesso: 04 abr. 2024.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 49 p.

CHIARADIA, A. C. N.; GOMES, J. C. **Feijão: química, nutrição e tecnologia**. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1997. 180 p.

CICHY, K. A.; WIESINGER, J. A.; BERRY, M.; MSOLLA, S. N.; FOURIE, D.; PORCH, T. G.; AMBECHEW, D.; MIKÇAS, P. N. The role of genotype and production environment in determining the cooking time of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Legume Science**, v. 1, e13, 2019.

COELHO, C. C. S.; SILVA, O. F.; CAMPOS, R. S.; BEZERRA, V. S.; CABRAL, L. M. C. Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças: Uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 19, n. 4 p. 369-375, 2015.

COELHO, J. D. Feijão. **Caderno setorial ETENE**, Fortaleza, CE, n. 322, p.1-8, 2023.

COELHO, S. R. M.; FILHO, E. G. A.; SILVA, L. M. A.; CISCIOFF, T. Z.; RIBEIRO, P. R. V.; ZOCCOLO, G. J.; CANUTO, K. M.; BASSINELLO, P. Z.; BRITO, E. S. NMR and LC-MS assessment of compound variability of common bean (*Phaseolus vulgaris*) stored under controlled atmosphere. **LWT – Food Science and Technology**, v. 117, A. 108673, 2020.

COELHO, S. R. M.; PRUDENCIO, S. H.; NÓBREGA, L. H. P.; LEITE, C. F. R. Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 33, n. 2, p. 539-544, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – Conab. **Portal de informações Agropecuárias**. Brasília - DF, 2024. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 10 abr. 2024.

CORTE, A. D.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding an Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RIMA, 2005. 1565 p.

DÍAZ, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 595–601, 2010.

DIDINGER, C.; THOMPSON, H. J. The role of pulses in improving human health: a review. **Legume Science**, v. 4, n. 4, e147, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2021-2022**. 43. ed. Florianópolis – SC: EPAGRI, 2022. 180 p.

FARONI, L. R. A.; CORDEIRO, I. C.; ALENCAR, E. R.; ROZADO, A. F.; ALVEZ, W. M. Influência do conteúdo de umidade de colheita e temperatura de secagem na qualidade do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. v. 10. n. 1, p.148-154, 2006.

FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. 3rd. ed. EUA: Taylor & Francis Group, 1996. 1067 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. FAOSTAT. **Database**. 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 10 abr. 2024.

FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; HELENO, F. F.; PRATES, L. H. F. Degradation kinetics of pirimiphos-methyl residues in maize grains exposed to ozone gas. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 1-5, 2017.

GIBSON, K. E.; ALMEIDA, G.; JONES, S. L.; WRIGHT, K.; LEE, J. A. Inactivation of bacteria on fresh produce by batch wash ozone sanitation. **Food Control**, v. 106, A. 106747, 2019.

GIESE, J. Color measurements in foods as a quality parameter. **Food Technology**, Chicago, v. 54, n. 2, p. 62-65, 2000.

GOWEN, A; ABU-GHANNAM, N; FRIAS, J; OLIVEIRA, J. The effect of blanching pre-treatment on water intake and texture kinetics. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 78, p. 810-819, 2007.

- GRAHAM, P. G.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, Bonn, v. 53, n. 1, p. 131-146, 1997.
- GRANATTO, D.; MASSON, M. L. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 1090-1096, 2010.
- GRDEN, P.; JAKUBCZYK, A. Health benefits of legume seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Nova Jersey, v. 103, p. 5177-5640, 2023.
- GUERRA, N. B.; DAVID, P. R. B. S.; MELO, D. D.; VASCONCELOS, A. B. B.; GUERRA, M. R. M. modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 45-52, 2004.
- GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. Use of ozone in the food industry. **LWT – Food Science and Technology**, v. 37, p. 453-460, 2004.
- HALL, C.; HILLEN, C.; ROBINSON, J. G. Composition, nutritional value, and health benefits of pulses. **Cereal Chemistry**, v. 94, p. 11-31, 2017.
- JOURDAN, G. A.; NOREÑA, C. P. Z.; BRANDELLI, A. Inactivation of trypsin inhibitor activity from Brazilian varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology International**, v. 13, n. 195, p. 195-198, 2007.
- KAJIWARA, V.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S. The influence of chemical composition diversity in the cooking quality of Andean bean genotypes. **Food Chemistry**, v. 339, n. 1, A. 127917, 2021.
- KATUURAMU, D. N.; LUYIMA, G. B.; NKALUBO, STANLEY, T.; WIESINGER, J. A.; KELLY, J. D.; CICHY, K. A. On-farm multi-location evaluation of genotype by environment interactions for seed yield and cooking time in common bean. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, A. 3628, 2020.
- KHANASHYAM, A. C.; SHANKER, M. A.; PANDISELVAM, R. **Enzyme Inactivation in Food Processing**. 1st. ed. New York: Apple Academic Press, 2023, 29 p.
- KINYANJUI, P. K.; NJOROGUE, D. M.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. Quantifying the effects of postharvest storage and soaking pretreatments on the cooking quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e13036, 2016.
- KLÂSENER, G. R.; RIBEIRO, N. D.; CASAGRANDE, C. R.; ARNS, F. D. Consumer preference and the technological and nutritional quality of different beans colours. **Acta Scientiarum**, v. 42, n. 2, e43689, 2020.
- KUTOS, T.; GOLOB, T.; KAC, M.; PLESTENJAK, A. Dietary fibres content of dry and processed beans. **Food Chemistry**, v. 80, n. 2, p. 231-235, 2003.
- KWOFIE, E. M.; MBA, O. I.; NGADI, M.; KENNEDY, G. Nutrition-sensitive bean processing: analysis of degradation trade-off of softening techniques on some essential trace elements. **International Journal of Food and Nutrition**, v. 2, n. 3, p. 1-10, 2019.

LEON, J. **Fundamentos botânicos de los cultivos tropicales**. 1. ed. São José, Costa Rica: IICA, 1968, 487 p.

LIMA, M. J. A.; FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Aplicações e implicações do ozônio na indústria, ambiente e saúde. **Química Nova**, São Paulo, v. 44, n. 9, p. 1151-1158, 2021.

LONDERO, P. M. G.; RIBEIRO, N. D.; POERSCH, N. L.; ANTUNES, L. F.; NORNBERG, J. L. Análise de frações de fibra alimentar em cultivares de feijão cultivadas em dois ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 2033-2036, 2008.

MAMIDI, S.; ROSSI, M.; MOGHADDAM, S. M.; ANNAM, D.; LEE, R.; MCCLEAN, O. E. Demographic factors shaped diversity in the two gene pools of wild common bean *Phaseolus vulgaris* L. **Heredity**, v. 110, n. 3, p. 267-276, 2012.

MARQUEZI, M.; GERVIN, V. M.; WATANABE, L. B.; MORESCO, R.; AMANTE, E. R. Chemical and functional properties of different common brazilian bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 20, e2016006, 2017.

NAVARRO, M. J. P.; QUEZADA, V. S.; NAVARRO, J. J. P.; ZAVALA, F. A.; PIÑA, G. L. Nutritional and nutraceutical properties of selected pulses to promote gluten-free food products. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 78, n. 2, p. 253-260, 2023.

NIVEDITHA, A.; PANDISELVAM, R.; PRASATH, V. A.; SIGH, S. K.; GUL, K.; KORHAKOTA, A. Application of cold plasma and ozone technology for decontamination of *Escherichia coli* in foods- a review. **Food Control**, v. 130, A. 108338, 2021.

OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M. QUINTELA, W. L.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; JUNIOR, M. L.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. 1. ed. Brasília - DF: Embrapa, 2018. 62 p.

PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WEI, L.; HAFF, R. Development of impact acoustic detection and density separations methods for production of high-quality processed beans. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 97, n. 1, p. 292-300, 2010.

PANDISELVAM, R.; KAAVYA, R.; JAYANATH, Y.; VEENUTTRANON, K.; LUEPRASITSAKUL, P.; DIVYA, V.; KORHAKOTA, A.; RAMESH, S. V. Ozone as novel emerging technology for the dissipation of pesticide residues in foods – a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 38-54, 2020.

PATTERSON, C. A.; CURRAN, J.; DER, T. Effect of Processing on Antinutrient Compounds in Pulses. **Cereal Chemistry**, v. 94, p. 2-10, 2017.

PAZ, C. H. O.; COELHO, S. R. M.; SCHOENINGER, V.; CHRIST, D.; GRANELLA, S. J. Processing in different solutions to obtain dried beans with reduced cooking time. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 90, e103491, 2023.

PINTO, C. C.; AMARAL, C. B.; OLIVEIRA, C. O.; FLÔRES, J. A.; LEMOS, L. B. Efeito do armazenamento em cultivares de feijoeiro para comercialização. **Agronomic Crop Journal**, Ilha Solteira, v. 29, n. 1, p. 92-105, 2020.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, C. V.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; REZENDE, S. T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, SP, v. 16, n. 2, p.157-162, 2005.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos do feijoeiro. In: ARF O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1. ed., Botucatu, SP: FEPAF, 2015. p. 65-75.

PROLLA, I. R.D.; BARBOSA, R.G.; VEECK, A. O. L.; AUGUSTI, P. R.; SILVA, L. P.; RIBEIRO, N. D.; EMANUELLI, T. Cultivar, harvest year, and storage conditions affecting nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 30, n. 1, p. 96-102, 2010.

PULSE CANADA. **Processing technology and applications**. 2024. Disponível em: <https://pulsecanada.com/processing/processing-technology>. Acesso em: 18 abr. 2024.

RIBEIRO, D. F.; FARONI, L. R. A. PIMENTEL, M. A. G.; PRATES, L. H. F.; HELENO, F. F.; ALENCAR, E. R. Ozone as a fungicidal and detoxifying agent to maize contaminated with fumonisins. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, n. 1, p. 38-49, 2021.

RIBEIRO, N. D.; CASAGRANDE, C. R.; MEZZOMO, H. C.; KLÂSNER, G. R.; STECKLING, S. M. Consumer preference and the technological, cooking and nutritional quality of carioca beans. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 651-664, 2019.

RODRIGUES, A. A. Z.; QUEIROZ, M. E. L. R.; NEVES, A. A.; OLIVEIRA, A. F.; PRATES, L. H. F.; FREITAS, J. F.; HELENO, F. F.; FARONI, L. R. Use of ozone and detergent for removal of pesticides and improving storage quality of tomato. **Food Research International**, v. 125, A. 108626, 2019.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 209-214, 2005.

SANTOS, G. G; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M. Evaluation of common bean morphological traits identifies grain thickness directly correlated with cooking time. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 1, p. 35-42, 2016.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 41-65.

SCHOENINGER, V.; BASSINELO, P. Z.; COELHO, S. R. M.; SILVA, L. B. Industrialização e qualidade de feijões enlatados. **Labgrãos Magazine**, v. 2, n. 1, p. 1-3, 2018.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; BASSINELLO, P. Z.; PRADO, N. V.; BISCHOFF, T. Z.; SIQUEIRA, V. C. Adaptability of brazilian beans cultivars to industrial canning. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 9, e20200048, 2020.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C. Processing parameter optimization for obtaining dry beans with reduced cooking time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 49-57, 2014.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos**: propriedades, degradações, modificações. São Paulo: Varela, 1996. 517 p.

SILOCHI, R. M. H. Q.; COELHO, S. R. M.; BISCHOFF, T. Z.; CASSOL, F. D. R.; PRADO, N. V.; BASSINELLO, P. A. Nutritional technological characterization and secondary metabolites in stored carioca bean cultivars. **African Journal of Agricultural**, v. 14, n. 24, p. 2102-2111, 2016a.

SILOCHI, R. M. H. Q.; COELHO, S. R. M.; BRANCO, E. M. Caracterização tecnológica e proteica de genótipos de feijão comum cultivados na região oeste do Paraná – Brasil. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, PR, v. 18, n. 27, p. 33-55, 2016b.

SILOCHI, R. M. H. Q.; SCHOENINGER, V.; HOSCHER, R. H.; RODRIGUES, N. G. E. Aspectos que influenciam a aquisição e preparo do feijão comum por consumidores domésticos. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, PR, v. 23, n. 37, p. 147-164, 2021.

SILVA, M. V. A.; FARONI, L. R. A.; MARTINS, M. A.; SOUSA, A. H.; BUSTOS-VANEGAS, J. D. CFD simulation of ozone gas flow for controlling *Sitophilus zeamais* in rice grains. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 88, A, 101675, 2020.

SILVA, O. F.; VALLE, H. M.; VENÂNCIO, A. Potential of aqueous ozone to control aflatoxigenic fungi in Brazil nuts. **ISRN Biotechnology**, v. 1, A. 859830, 2013.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **Cultivo do feijão**: estatística da produção. 2023. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/feijao/preproducao/socioeconomia/estatistica-da-producao#:~:text=Quantidade%20produzida%20de%20feij%C3%A3o%20\(toneladas,produtos%20\(1973%E2%80%932022\).&text=O%20feij%C3%A3o%20%C3%A9%20produzido%20em,%E2%80%9D%20ou%20%E2%80%9Ccirrigada%E2%80%9D\)](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/feijao/preproducao/socioeconomia/estatistica-da-producao#:~:text=Quantidade%20produzida%20de%20feij%C3%A3o%20(toneladas,produtos%20(1973%E2%80%932022).&text=O%20feij%C3%A3o%20%C3%A9%20produzido%20em,%E2%80%9D%20ou%20%E2%80%9Ccirrigada%E2%80%9D).). Acesso em: 10 abr. 2024.

SILVA, W. A.; PEREIRA, J.; CARVALHO, W.P.; FERRUA, F. Q. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p.154-163, 2007.

SITOE, E. P. E.; ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; FONTES, E. A.; SILVA, M. V. A.; MACHADO, F. J.; PANDISELVAM, R.; MAGALHÃES, C. G. Application of ozone at low-pressure: control of egg and larval phases of *Zabrotes subfasciatus*, inactivation of *Aspergillus flavus* and qualitative changes in beans grains. **Food Control**, v. 158, A. 110238, 2024.

SOUZA, L. P.; FARONI, L. R. A.; HELENO, F. F.; PINTO, F. G.; QUEIROZ, M. E. L. R.; PRATES, L. H. F. Ozone treatment for pesticide removal from carrots: Optimization by response surface methodology. **Food Chemistry**, v. 243, p. 435-441, 2018.

SOUZA, S. S.; SANTANA, M. J.; LEMOS, L. B.; VALERIANO, T. T. B.; CUNHA, T. P. L. Qualidade tecnológica de grãos de cultivares de feijão-comum em resposta a reposições hídricas no solo. **Revista Inova Ciência e Tecnologia**, Uberaba, v. 5, n. 1, p. 5-11, 2019.

STECKLING, S. M.; RIBEIRO, N. D.; ARNS, F. D.; MEZZOMO, H. C. Genetic diversity and selection of common bean lines based on technological quality and biofortification. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, SP, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.

SUJAYASREE, O. J.; CHAITANYA, A. K.; BHOITE, R.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A.; GAVAHIAN, M.; KHANEGHAH, A. M. Ozone: an advanced oxidation technology to enhance sustainable food consumption through mycotoxin degradation. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, p. 17-37, 2022.

THOMPSON, H. J. Improving human dietary choices through understanding of the tolerance and toxicity of pulse crop constituents. **Food Science**, v. 30, p. 93-97, 2019.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Avaliação química e nutricional do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cozido por diferentes métodos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 48, n. 2, p. 355-360, 2008.

UEBERSAX, M.A.; SIDDIQ, M. Market classes and Physical and Physiological characteristics of dry beans. In: SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M.A. **Dry beans and pulses: production, processing and nutrition**. Ames: John Wiley & Sons, 2013. p. 55-74.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Foreign Agricultural Service. Global Agricultural Information Network. **Brazilian dry bean production**. 2019. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Brazilian%20Dry%20Bean%20Production_Brasilia_Brazil_7-12-2019.pdf. Acesso em: 10 abr.2024.

URGA, K.; FUFA, H.; BIRATU, E.; GEBERETSADIK, M. Effects of blanching and soaking on some physical characteristics of grass pea (*Lathirus Sativus*). **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**. Nairobi, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2006.

UZOMA, S.; ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; SILVA, M. V. A.; SITEO, E. P. E.; PANDISELVAM, R.; MACHADO, S. G. Association between low-temperature drying and ozonation processes to control pests and preserve maize quality. **Food Control**, v. 156, A. 110119, 2024.

VIEIRA, C. **O feijoeiro-comum**. 1. ed. Viçosa, MG: Imprensa universitária, Universidade Rural do Estado de Minas Gerais, 1967, 220 p.

VLASOVA, A. et al. Genome and transcriptome analysis of the Mesoamerican common bean and the role of gene duplications in establishing tissue and temporal specialization of genes. **Genome Biology**, v. 17, n. 1, p.1-18, 2016.

WACU, V.; NAMAEMBA, E.; MAKOKHA, A. N.; NJOROGGE, D.; KINYANJUI, P.; SILA, D. Impact of storage conditions on the physical properties and cooking characteristics of two bean varieties grown in Kenya. **Food Science and Quality Management**, v. 40, p. 15-24, 2015.

WAINAINA, I.; WAFULA, E.; SILA, D.; KYIMUGASHO, C.; GRAUWET, T.; LOEY, A. V.; HENDRICKX, M. Thermal treatment of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.): factors determining cooking time and its consequences for sensory and nutritional quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, p. 3690-3718, 2021.

WANG, N.; HATCHER, D. W.; TYLER, R. T.; TOEWS, R.; GAWALKO, E. J. Effect of cooking on the composition of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). **Food Research International**, v. 43, n. 2, p. 589-594, 2010.

WIESINGER, J. A.; CICHY, K. A.; GLAHN, R. P.; GRUSAK, M. A.; BRICK, M. A.; THOMPSON, H. J.; TAKO, E. Demonstrating a nutritional advantage to the fast-cooking dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 45, p. 8592-8603, 2016.

WYSOK, B.; URADZIŃSKI, J.; GOMÓKA-PAWLICKA, M. Ozone as an alternative disinfectant. A review. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 15, n. 1, p. 3-8, 2006.

XIAO, H.-W.; ZHONGLI, P.; DENG, L.-Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X.-H. MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z.-H.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching. A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 101–127, 2017.

YUCEL, U.; ALPAS, H.; BAYINDIRLI, A. Evaluation of high-pressure pretreatment for enhancing the drying rates of carrot, apple, and green bean. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 98, n. 1, p. 266-272, 2010.

ZAMINDAR, N.; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 108-114, 2013.

ZHAO, B.; CHANG, K. C. Evaluation of effects of soaking and precooking conditions on the quality of precooked dehydrated pea, lentil and chickpea products. **Journal of Food Processing and Preservation**, Wyndmoor, v. 32, n. 1, p. 517-532, 2008.

4 ARTIGO 1 - Qualidade nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido aos processos de branqueamento e hidratação

RESUMO: O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) desempenha um importante papel social e econômico por sua composição nutricional rica e benéfica ao ser humano. No entanto, houve redução considerável no consumo desse grão nos últimos anos, principalmente em função do tempo necessário para o cozimento. Oferecer um produto processado que mantenha suas características tecnológicas, mas com tempo de preparo reduzido, é uma alternativa atraente para consumidores que buscam conveniência e qualidade. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade tecnológica e nutricional de grãos de feijão submetidos a processamento, utilizando técnicas de branqueamento e hidratação em diferentes soluções. Observou-se que o processamento dos grãos de feijão através da técnica de branqueamento por períodos prolongados, superiores a 30 segundos, em soluções contendo bicarbonato de sódio, carbonato de sódio, metabissulfito de sódio e ácido ascórbico, aumenta o tempo de cozimento dos grãos. O maior valor foi observado com o branqueamento dos grãos por um período de 180 segundos em solução de metabissulfito de sódio (0,50 g.100 ml⁻¹), resultando em aumento do tempo de cocção em cerca de 73,4%. Por outro lado, o processamento por branqueamento realizado por 30 segundos, utilizando soluções de ácido ascórbico (0,75 g.100 ml⁻¹) ou metabissulfito de sódio (0,50 g.100 ml⁻¹), reduziu a alteração de cor do produto após o processamento. A hidratação dos grãos por 12 horas, associado ao uso de solução contendo carbonato de sódio (1,50 g.100 ml⁻¹), reduziu o tempo de cocção dos grãos em 73% e contribuiu para a redução do nível de dano no produto processado. O processo de branqueamento por 30 segundos em água destilada, seguido de hidratação por 12 horas também em água destilada, apresentou-se como uma alternativa viável para o processamento dos grãos de feijão, reduzindo o tempo de cocção em cerca de 31,7% e mantendo os parâmetros de qualidade química e de metabólitos secundários como fibras, proteínas, lipídios, capacidade antioxidante e teor de fitatos próximos aos observados para os grãos considerados controle.

Palavras-chave: imersão, temperatura, compostos bioativos.

4.1 INTRODUÇÃO

O feijão é um alimento de significativa importância global, desempenhando um papel essencial na garantia da segurança alimentar, na promoção da saúde e na sustentabilidade ambiental. Sua relevância transcende fronteiras e está profundamente enraizada na história e na tradição culinária de inúmeros países, sendo, em muitas regiões, a leguminosa mais consumida na dieta humana. Esse destaque é particularmente notável em regiões onde o acesso a proteínas de origem animal é limitado, evidenciando sua importância como fonte vital de nutrientes e energia (Usda, 2019).

Em termos nutricionais, o feijão se destaca como uma fonte excepcional de proteínas vegetais de alta qualidade, fibras, além de uma variedade de vitaminas e minerais essenciais para o organismo humano. Sua composição nutricional o torna um aliado poderoso na promoção da saúde, auxiliando na manutenção do peso saudável, na prevenção de doenças crônicas como diabetes, doenças cardíacas e certos tipos de câncer, além de contribuir para a saúde gastrointestinal (Didinger; Thompson, 2022).

Além de seus notáveis benefícios para a saúde, o feijão assume um papel de importância na garantia da segurança alimentar, especialmente em regiões onde se configura como uma fonte primordial de proteína e nutrição acessível. Sua capacidade de desenvolvimento em uma variedade de condições climáticas e sua adaptação a diferentes tipos de solo o tornam uma cultura altamente resiliente e confiável, contribuindo para a estabilidade alimentar em muitas partes do mundo (Silva; Wander, 2023).

Embora os inúmeros benefícios associados ao consumo do feijão sejam amplamente reconhecidos, mudanças nos padrões de vida, impulsionadas pela urbanização, têm impactado significativamente os hábitos alimentares familiares (Conab, 2024). Com a urbanização, atividades domésticas que demandam tempo e dedicação, como o preparo de pratos que requerem processos culinários mais elaborados, passaram a ocupar um lugar menos proeminente na rotina familiar. Como resultado desse cenário, observa-se uma notável redução no consumo do feijão nos últimos anos (Usda, 2019; Coelho, 2023).

Entre as características que afetam diretamente o consumo dos grãos, o comportamento dos grãos de feijão durante o processo de cocção é um fator que exerce grande impacto tanto na aceitação quanto no consumo desse alimento (Siloichi et al., 2021). Em muitos casos, observa-se uma preferência por marcas e variedades de grãos que cozinham mais rápido, refletindo a demanda dos consumidores contemporâneos por praticidade, conveniência e qualidade na preparação dos alimentos (Asiimwe et al., 2024). Diante desse contexto, as indústrias de processamento têm se dedicado intensamente ao

desenvolvimento de produtos prontos ou semiprontos, que requeiram um tempo reduzido de preparo. Esses esforços visam atender às expectativas e exigências do mercado, oferecendo opções que se alinham aos padrões de vida modernos e às demandas por refeições rápidas e de alta qualidade (Schoeninger et al., 2018).

Uma técnica de processamento promissora para grãos de feijão é a produção de um produto seco de cozimento rápido. Essa técnica envolve etapas como branqueamento, hidratação e secagem, visando reduzir o tempo de preparo doméstico. O branqueamento inativa enzimas e previne a oxidação, enquanto a hidratação facilita o cozimento (Xiao et al., 2017). Métodos alternativos incluem a combinação de branqueamento e hidratação com processos químicos, como a adição de soluções químicas, para reduzir ainda mais o tempo de cocção (Schoeninger et al., 2014a; Paz et al., 2023).

O processamento de grãos de feijão com o intuito de reduzir o tempo de cozimento dos grãos, não apenas simplifica a preparação culinária, mas também oferece benefícios em termos de economia de tempo, energia e recursos, além de promover a praticidade e conveniência no cotidiano. Embora a presença de produtos industrializados no mercado e o número de indústrias envolvidas nesse tipo de processamento ainda sejam limitados, esse segmento apresenta um notável potencial de expansão (Schoeninger et al., 2020).

O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos dos métodos de branqueamento e hidratação, em combinação com o uso de soluções químicas, no processamento de grãos de feijão seco de cozimento rápido. Para tanto, realizou-se a avaliação da qualidade tecnológica dos grãos, visando identificar as condições de processamento que minimizam as alterações pós-processamento.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Matéria-prima

Foram utilizados grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) da cultivar carioca, processados e obtidos no mercado local em Viçosa – Minas Gerais. O teor de água dos grãos foi determinado em 13,0 g.100 g⁻¹ (Brasil, 2009). Os grãos de feijão foram armazenados em condição de baixa temperatura (5 ± 1 °C) até o momento da realização do experimento, quando foram submetidos aos tratamentos de processamento.

4.2.2 Primeira etapa

Para investigar os efeitos do processamento na qualidade dos grãos, o estudo foi conduzido em duas etapas distintas. Na primeira etapa, foram empregados dois experimentos, na forma de delineamento experimental do tipo inteiramente casualizado (DIC). O primeiro experimento, denominado Experimento 01, envolveu dois fatores: o tempo de branqueamento, com três níveis (30, 105 e 180 segundos), e o tipo de solução, com nove níveis. Paralelamente, o Experimento 02 também se consistiu em dois fatores: o tempo de hidratação, com três níveis (4, 8 e 12 horas), e o tipo de solução, com nove níveis. A fase inicial, que compreendeu ambos os experimentos, foi concebida para realizar uma avaliação preliminar dos fatores com impacto significativo no processamento dos grãos. Para esse propósito, cada experimento considerou todas as combinações dos níveis dos fatores utilizados. A Tabela 1 apresenta os nove níveis do fator tipo de solução utilizados no Experimento 01 e no Experimento 02, juntamente com suas respectivas concentrações e condições de pH.

Tabela 1 Tipo de soluções utilizadas no processamento dos grãos de feijão e suas respectivas concentrações e pH

Níveis	Tipo de solução	pH*
01	Água destilada (H ₂ O)	7,04 ± 0,07
02	Bicarbonato de sódio (NaHCO ₃) - 0,75 g.100 ml ⁻¹	7,98 ± 0,06
03	Bicarbonato de sódio (NaHCO ₃) - 1,50 g.100 ml ⁻¹	8,19 ± 0,04
04	Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃) - 0,75 g.100 ml ⁻¹	10,97 ± 0,05
05	Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃) - 1,50 g.100 ml ⁻¹	11,02 ± 0,04
06	Metabissulfito de sódio (NaS ₂ O ₅) - 0,50 g.100 ml ⁻¹	4,42 ± 0,04
07	Metabissulfito de sódio (NaS ₂ O ₅) - 1,00 g.100 ml ⁻¹	4,43 ± 0,03
08	Ácido ascórbico (C ₆ H ₈ O ₆) - 0,75 g.100 ml ⁻¹	3,68 ± 0,02
09	Ácido ascórbico (C ₆ H ₈ O ₆) - 1,50 g.100 ml ⁻¹	3,09 ± 0,03

Nota: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

Os níveis dos fatores adotados para o planejamento foram determinados com base em testes preliminares e resultados de estudos anteriores (Celestino, 2010; Schoeninger et al., 2014a; Fao, 2019; Paz et al., 2023). Cada um dos experimentos resultou em um planejamento com 27 tratamentos, os quais foram realizados em duas repetições para cada. O número de tratamentos foi determinado pela combinação dos fatores tempo de processamento (branqueamento – experimento 01 e hidratação – experimento 02) e tipo de solução (Tabela 1).

Em cada tratamento, foram utilizadas amostras de 100 g de feijão. No experimento referente à etapa de branqueamento (Experimento 01), os grãos foram acondicionados em embalagens de PVC trançadas e submersos em recipientes de alumínio, inseridos em um

banho-maria (marca Tecnal, modelo TE-056) contendo 400 ml das respectivas soluções aquecidas a 96 ± 2 °C. Os grãos permaneceram imersos nas soluções por períodos variados, conforme o delineamento proposto (30, 105 e 180 segundos). Já no experimento referente à etapa de hidratação (Experimento 02), os grãos de feijão foram imersos em béqueres de 1 L contendo 400 ml das respectivas soluções, mantidas em temperatura ambiente, por diferentes períodos, conforme o planejamento proposto (4, 8 e 12 horas). Para a preparação das soluções, utilizou-se água destilada com pH 7,04.

Em ambos os experimentos, após as etapas de processamento, os grãos foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar até alcançarem o teor de umidade inicial ($13 \text{ g. } 100 \text{ g}^{-1}$). A temperatura de secagem empregada foi de 50 ± 2 °C. Em seguida, os grãos foram submetidos a análises de qualidade tecnológica, conforme descrito a seguir.

4.2.2.1 Capacidade de absorção de água antes do cozimento (ABS)

Para a avaliação da capacidade de absorção de água antes do cozimento, adotou-se a metodologia proposta por Carbonell, Carvalho e Pereira (2003). Amostras contendo, aproximadamente, 30 g de feijão foram imersas em 100 ml de água destilada e mantidas em repouso em condições de temperatura ambiente por um período de 16 horas. Após esse tempo, os grãos foram drenados e pesados novamente. A capacidade de absorção de água foi então calculada com base na diferença de massa observada antes e após o processo, expressa em porcentagem.

4.2.2.2 Tempo de cozimento (TC)

O tempo de cozimento dos grãos foi avaliado utilizando-se o aparelho cozedor de Mattson modificado, conforme o método proposto por Proctor e Watts (1987). Esse aparelho possui 25 hastes metálicas com 20 cm de comprimento e massa de 82,0 g cada. A massa representa a força média que o consumidor utiliza entre os dedos para verificar a maciez e, consequentemente, o cozimento do grão. Para a realização da análise, porções de 30 g de feijão foram imersas em 100 ml de água destilada e deixadas em repouso por um período de 16 horas. Em seguida, vinte e cinco grãos inteiros foram selecionados e colocados em cada uma das vinte e cinco cavidades do aparelho cozedor, com as hastes metálicas suspensas sobre cada grão. O cozedor foi então posicionado em banho-maria, contendo 1,5 L de água em ebulição, com o volume sendo mantido durante o cozimento adicionando-se água também em ebulição. O tempo de cozimento foi iniciado quando a água atingiu aproximadamente 95 °C. O tempo necessário para o cozimento dos grãos foi determinado visualmente,

considerando que 13 dos 25 grãos fossem perfurados pelas hastes metálicas. O tempo de cozimento também foi determinado para os grãos considerados controle, que não foram submetidos aos tratamentos de processamento. Com os valores do tempo de cozimento (em minutos) das amostras de feijão processado e do controle, calculou-se a alteração do tempo de cozimento (ATC) dos grãos, utilizando-se a Equação 1:

$$ATC = \left(\frac{TC_{controle} - TC_{amostra}}{TC_{controle}} \right) * 100 \quad (1)$$

em que:

ATC - Alteração do tempo de cozimento da amostra, em relação ao controle (%);

TC_{controle} - tempo necessário para o cozimento dos grãos de feijão considerados controle (min);

TC_{amostra} - tempo necessário para o cozimento dos grãos das amostras de feijão pré- processado, em minuto.

4.2.2.3 Porcentagem de grãos danificados após o processamento (PGD)

Após a secagem, a porcentagem de grãos danificados foi avaliada conforme a metodologia proposta por Pan et al. (2010). Os grãos foram pesados e separados manualmente em duas categorias: danificados e não danificados. Para classificar um grão como danificado, consideraram-se a presença de rachaduras no tegumento, o desprendimento da casca do tegumento e a ocorrência de bandinhas (feijão partido). Em seguida, os grãos danificados foram pesados e expressos como massa de grãos danificados por 100 g de amostra.

4.2.2.4 Cor

A determinação da cor do produto foi realizada por meio da leitura direta dos grãos de feijão utilizando um colorímetro digital da marca Konica Minolta®, modelo CR 410, com abertura de 50 mm. Esse equipamento considera em seu sistema as coordenadas L*, a* e b*, que representam, respectivamente, a luminosidade, o teor de vermelho e teor de amarelo. Antes das leituras, o colorímetro foi previamente calibrado utilizando uma placa cerâmica de acordo com padrões pré-estabelecidos pelo fabricante (Y = 85,8; x = 0,3195; y = 0,3369), utilizando o iluminante D65, que representa a luz natural média. Foram realizadas as leituras das amostras com três repetições, obtendo-se valores médios de L*, a* e b* (Granato; Masson, 2010). A análise de cor também foi realizada para os grãos de feijão considerados controle (sem tratamento). A partir dos dados obtidos para os grãos controle e os grãos

processados, foi possível determinar a diferença de cor dos grãos após o processamento. Os valores para a diferença dos grãos processados em relação ao controle (Δe^*) foram calculados conforme a Equação 2.

$$\Delta e^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

4.2.3 Segunda etapa

Após a realização das análises da primeira etapa, procedeu-se à seleção dos fatores que demonstraram efeitos significativos sobre os parâmetros de qualidade tecnológica. Com base nessa seleção, foi elaborado um novo experimento, utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado, combinando as etapas de branqueamento e hidratação, em conjunto com os fatores identificados como promissores para a redução do tempo de cozimento e manutenção das características de qualidade dos grãos.

O experimento realizado na segunda etapa consistiu-se em seis tratamentos mais o controle, realizados com três repetições para cada. O grão não processado, considerado controle, foi incluído como um dos tratamentos para avaliar os efeitos do processamento na qualidade dos grãos em comparação com os grãos não processados.

O número de tratamentos foi determinado considerando a combinação dos fatores selecionados na primeira etapa do estudo. O tempo de branqueamento foi fixado em 30 segundos e o tempo de hidratação dos grãos em 12 horas. A Tabela 2 apresenta os tratamentos com os respectivos fatores utilizados, para cada uma das etapas de processamento (branqueamento e hidratação).

Tabela 2 Descrição dos tratamentos e soluções utilizadas no processamento dos grãos de feijão, com suas respectivas concentrações

Tratamento	Branqueamento – 30 segundos	Hidratação – 12 horas
T1	H ₂ O	H ₂ O
T2	C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75 g.100 ml ⁻¹	Na ₂ CO ₃ - 1,50 g.100 ml ⁻¹
T3	H ₂ O	Na ₂ CO ₃ - 1,50 g.100 ml ⁻¹
T4	C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75 g.100 ml ⁻¹	H ₂ O
T5	NaS ₂ O ₅ - 0,50 g.100 ml ⁻¹	Na ₂ CO ₃ - 1,50 g.100 ml ⁻¹
T6	NaS ₂ O ₅ - 0,50 g.100 ml ⁻¹	H ₂ O
Controle	-----	-----

O Tratamento 1 (T1) foi composto por branqueamento em água destilada, seguido de hidratação em água destilada. O Tratamento 2 (T2) foi composto por branqueamento em solução de ácido ascórbico (C₆H₈O₆) com concentração de 0,75 g.100 ml⁻¹, seguido por hidratação em solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) com concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹. O Tratamento 3 (T3) foi composto por branqueamento em água destilada, seguido de

hidratação em solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) com concentração de $1,50 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$. O Tratamento 4 (T4) foi composto por branqueamento em solução de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) com concentração de $0,75 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$, seguido de hidratação em água destilada. O Tratamento 5 (T5) foi composto por branqueamento em solução de metabissulfito de sódio (NaS_2O_5) com concentração de $0,50 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$, seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) com concentração de $1,50 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$. O Tratamento 6 (T6) foi composto por branqueamento em solução de metabissulfito de sódio (NaS_2O_5) com concentração de $0,50 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$, seguido de hidratação em água destilada.

Após a realização dos tratamentos, os grãos foram secos em estufa com circulação de ar a 50°C até alcançarem o teor de umidade inicial ($13 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Em seguida, os grãos foram submetidos às mesmas análises de qualidade realizadas na primeira etapa. Além disso, para a segunda etapa, tanto os grãos considerados controle quanto os grãos processados foram moídos em moinho analítico e, posteriormente, peneirados para obter farinhas com granulometria de 50 mesh. Em seguida, foram realizadas análises de qualidade química e de metabólitos secundários, conforme descritas a seguir.

4.2.3.1 Proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo conteúdo de nitrogênio (N) total das amostras, utilizando-se o método microKjeldahl, conforme descrito por AOAC (1995). O procedimento do método consiste em três etapas básicas: 1) digestão da amostra em ácido sulfúrico; 2) digestão; 3) Quantificação por titulação. Utilizou-se $0,2 \text{ g}$ de amostra seca. Para converter a porcentagem de nitrogênio em proteína, foi aplicado o fator de correção de 6,25. Os resultados foram expressos em massa seca (MS).

4.2.3.2 Fibra bruta

A análise de fibra bruta foi realizada segundo os preceitos da AOAC (1995), com um equipamento Determinador de Fibra Tecnal TE-149. Foram pesados $0,5 \text{ g}$ de amostra de feijão moído (farinha) e colocados em pequenas embalagens de TNT, que foram posteriormente inseridas no equipamento. O ácido sulfúrico ($0,255 \text{ N}$) foi utilizado como solução ácida, enquanto o hidróxido de sódio ($0,313 \text{ N}$) foi utilizado como solução básica, a uma temperatura próxima de $98 \pm 1^\circ\text{C}$. As amostras foram digeridas por 30 minutos em cada solução e lavadas quatro vezes com água destilada entre uma etapa e outra, bem como ao final do processo. Após a lavagem, as amostras foram levadas à mufla por 2 horas a 500°C . A diferença de peso antes e após a queima forneceu o peso da fibra bruta das amostras.

4.2.3.3 Teor de lipídios

Para extração da fração lipídica, utilizou-se o método de Goldfish modificado em equipamento Extrator de Gorduras Tecnal TE-044. Foram utilizados 5 g de farinha e éter de petróleo como solvente, extraídos por 3 horas a 90 °C. O teor de lipídios foi expresso em porcentagem em base seca.

4.2.3.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Inicialmente, foram pesados 10 gramas de amostra e diluídos em 100 ml de água destilada. A mistura foi agitada por 30 minutos e, em seguida, deixada em repouso por dez minutos para garantir a suspensão uniforme das partículas. O pH foi então medido com um pHmetro de bancada digital, com compensação automática de temperatura, modelo Tecnal 3, previamente calibrado com soluções tampão pH 4 e 7.

4.2.3.5 Taninos

A determinação do conteúdo de taninos nos grãos foi realizada pelo método espectrofotométrico Folin-Denis (Horwitz, 1995), com adaptações. O extrato foi preparado utilizando-se 0,3 g de farinha e uma solução extratora composta por metanol:água (2:1), agitando-se por 30 minutos, sendo 5 minutos em agitador de vórtex e 25 minutos em ultrassom. Posteriormente, os extratos foram centrifugados por 15 minutos a 3600 rpm e o sobrenadante de cada amostra foi transferido para um balão de 10 ml, que foi completado com a mistura extratora. Foi adicionado 1 ml do extrato em um tubo de ensaio, seguido por 100 µL do reagente Folin-Ciocalteu e 300 µL de solução saturada de Na₂CO₃ (20%). Os tubos foram então colocados em banho-maria a 40 °C por 30 minutos e, após isso, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 765 nm. O padrão da curva foi obtido com ácido tânico (50 ppm – mg. L⁻¹). Os resultados foram expressos em mg de fenóis (ácido tânico) por 100 g de matéria.

4.2.3.6 Atividade antioxidante

A determinação da capacidade antioxidante foi realizada utilizando o radical DPPH. Foi utilizado o extrato de amostra preparado durante a determinação de taninos. Seguiu-se a metodologia adaptada proposta por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Em tubos do tipo Falcon, foram adicionados 0,10 ml do extrato e 2,90 ml de solução padrão de DPPH (103,2 μM). Essa mistura foi agitada e deixada no escuro por 25 minutos. A absorbância das amostras foi medida em espectrofotômetro a 515 nm, utilizando o metanol como branco. Foi utilizada uma curva padrão de Trolox (6 – hidroxí - 2,5,7,8 –tetrametilcromano – 2 - ácido carboxílico) para o cálculo e a expressão dos resultados em μmol de equivalente Trolox por grama de matéria ($\mu\text{mol TEAC. g}^{-1}$).

4.2.3.7 Fitatos

A análise de ácido fítico foi realizada conforme metodologia adaptada descrita por Latta e Eskin (1980). Para a extração do ácido fítico, foram utilizados 0,5 g de farinha. O extrator empregado foi uma solução de ácido clorídrico (2,4%), agitada a 250 rpm por 2 horas. Em seguida, a mistura foi centrifugada por 10 minutos a 3.000 rpm, seguido de repouso por 10 minutos. O sobrenadante foi então eluído em uma coluna com DOWEX® e acrescido de 3,3 ml de solução de Wade, agitado em vórtex e centrifugado novamente. Após 15 minutos de repouso, a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 500 nm. Para a construção da curva padrão, foram utilizados 0,010 g de ácido fítico, adicionados a 100 ml de água destilada. Os resultados foram expressos conforme a concentração de ácido fítico presente nas amostras (μg de fitatos por μg de matéria).

4.2.3.8 Açúcares redutores

A análise de açúcares redutores foi realizada conforme metodologia adaptada de Bernfeld (1955). Preparou-se o extrato utilizando 0,3 g de farinha e uma solução extratora composta por metanol, clorofórmio e água (12:5:3). A mistura foi agitada em vórtex por 1 minuto e centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos. Após a centrifugação, o sobrenadante foi transferido para um balão volumétrico de 10 ml. Esse processo foi repetido mais duas vezes, completando-se o volume do balão com a solução extratora. Para a análise, utilizou-se 1 ml do extrato e 1 ml do reagente ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS), misturados em tubo Falcon e aquecidos em banho maria a 100 °C por 5 min. Após esse período, os tubos foram imersos em água fria para interromper a reação. As leituras foram realizadas 540 nm utilizando-se um

espectrofotômetro. A curva padrão foi obtida com soluções de glicose, e os resultados expressos em gramas de glicose por 100 g de feijão.

4.2.3.9 Análise estatística

Os resultados obtidos, em ambas as etapas do trabalho, foram submetidos à análise estatística utilizando o *software* computacional RStudio versão 4.3.0. Primeiramente, os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e em relação à homocedasticidade pelo teste de Bartlett, a um nível de significância de 5%. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Primeira etapa: Efeito dos fatores de processamento utilizados nas etapas de branqueamento e hidratação na qualidade tecnológica dos grãos de feijão processados

Os grãos não processados (controle) apresentaram tempo médio de cozimento de 30 ± 1 min, capacidade de absorção de água antes do cozimento de $86,23 \pm 0,68\%$ e luminosidade (L^*) média de $56,3 \pm 1,11$. As condições empregadas no processamento dos grãos resultaram em um tempo médio de cozimento do feijão de $37,8 \pm 8,8$ minutos para o Experimento 01, com variações entre $24,5 \pm 2,12$ minutos e $54 \pm 1,41$ minutos, e um tempo médio de cozimento de $39,5 \pm 15,2$ minutos para o Experimento 02, com variações entre $8 \pm 0,01$ e $69,5 \pm 2,12$ minutos. Em ambos os experimentos, houve interação significativa entre os fatores tipo de solução e tempo de processamento (Branqueamento - Experimento 01; Hidratação – Experimento 02) para a variável resposta tempo de cozimento. Os resultados obtidos para o tempo de cozimento dos grãos processados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Valores médios de tempo de cozimento (minutos) de grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Experimento 01 - Branqueamento			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (segundos)		
	30	105	180
H ₂ O	28 Cb ± 1,41	42 Bc ± 1,41	54 Aa ± 1,41
NaHCO ₃ - 0,75	28 Cb ± 1,41	44,5 Aabc ± 0,70	40,5 Bc ± 0,70
NaHCO ₃ - 1,50	27,5 Cb ± 0,70	43 Abc ± 1,41	34,5 Bd ± 0,70
Na ₂ CO ₃ - 0,75	28 Cb ± 0,00	37 Ad ± 1,41	32 Bd ± 0,00
Na ₂ CO ₃ - 1,50	28,5 Ab ± 0,70	31 Ae ± 0,00	24,5Be ± 2,12
NaS ₂ O ₅ - 0,50	29 Cb ± 0,70	46,5 Bab ± 0,70	52 Aa ± 0,00
NaS ₂ O ₅ - 1,00	36 Ba ± 0,00	48 Aa ± 0,00	45,5 Ab ± 0,70
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	28,5 Bb ± 0,70	46,5 Aab ± 2,12	44,5 Abc ± 2,12
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	31 Cb ± 0,00	47 Aab ± 2,82	43 Bbc ± 1,41

Experimento 02 - Hidratação			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (horas)		
	4	8	12
H ₂ O	34,5 Bb ± 0,70	35 Bc ± 0,70	39,5 Ade ± 0,70
NaHCO ₃ - 0,75	31,5 Bb ± 0,70	35 Bc ± 2,82	39,5 Ade ± 0,70
NaHCO ₃ - 1,50	33 Ab ± 1,41	33,5 Ac ± 2,12	35,5 Ae ± 2,12
Na ₂ CO ₃ - 0,75	31 Bb ± 0,00	36 Ac ± 1,41	28,5 Bf ± 0,70
Na ₂ CO ₃ - 1,50	18,5 Ac ± 0,70	20,5 Ad ± 0,70	8 Bg ± 0,01
NaS ₂ O ₅ - 0,50	63 Ba ± 1,41	69 Aa ± 1,41	69,5 Aa ± 2,12
NaS ₂ O ₅ - 1,00	62,5 Aa ± 4,94	53,5 Bb ± 2,12	61 Ab ± 1,41
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	31 Cb ± 0,00	36,5 Bc ± 3,53	45 Acd ± 1,41
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	31,5 Bb ± 0,70	35,5 Bc ± 0,70	46,5 Ac ± 0,70

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis do tempo de processamento (branqueamento ou hidratação). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

Na avaliação do Experimento 01, constatou-se que o branqueamento por 30 segundos, em diferentes soluções, com exceção da condição que utilizou a concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹ de carbonado de sódio (Na₂CO₃), resultou em tempos de cozimento inferiores em comparação aos tempos de branqueamento de 105 e 180 segundos. No entanto, não apresentou redução expressiva em relação aos grãos considerados controle (30 ± 1 min). Embora a solução com concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹ de carbonado de sódio (Na₂CO₃) não tenha demonstrado eficácia superior nos 30 segundos de branqueamento, ela não apresentou diferença estatística em relação às outras médias registradas como tempos de cozimentos mais curtos para esse período de processamento.

Em relação à eficácia das soluções, apenas a solução de metabissulfito de sódio (NaS₂O₅) com concentração de 1,00 g.100 ml⁻¹ foi estatisticamente diferente para o branqueamento de 30 segundos, resultando em um aumento de, aproximadamente, 20% no tempo de cozimento dos grãos processados. Para os outros tempos de branqueamento, com

exceção da concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹ de carbonado de sódio (Na₂CO₃) no tempo de 180 segundos, todas as soluções resultaram em um aumento no tempo de cozimento dos grãos em comparação com o processamento de 30 segundos.

O uso de soluções de Na₂CO₃ nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ resultou em tempos de cozimento mais curtos em todos os tempos de branqueamento testados, em comparação com as outras soluções utilizadas. Em geral, de acordo com as condições empregadas, o branqueamento realizado por períodos mais longos (105 e 180 segundos), em diferentes condições das soluções, resultou em aumento significativo no tempo de cocção dos grãos, não sendo recomendado para o processamento de feijões com o objetivo de reduzir o tempo de preparo.

A etapa de branqueamento pode sofrer interferência direta de inúmeros fatores, incluindo a temperatura do processo, o tempo de branqueamento e o tipo de solução empregada. Schoeninger et al. (2014a), em estudo sobre o processamento de grãos de feijão por meio de branqueamento e hidratação com diferentes soluções, verificaram que o fator temperatura de branqueamento teve um impacto significativo no aumento do tempo de cocção dos grãos, assim como o tipo de solução utilizada.

O processo de branqueamento por ser realizado em temperaturas mais elevadas pode levar ao endurecimento dos grãos e, conseqüentemente, ao aumento no tempo de cozimento, especialmente quando realizado por períodos mais longos. Koriyama et al. (2017), ao estudarem o efeito de diferentes temperaturas de imersão de grãos de feijão vermelho, verificaram aumento do tempo de cocção quando a temperatura variou de 50 °C para 60 °C. De acordo com os autores, a imersão de grãos de feijão em temperaturas mais altas pode resultar no endurecimento dos grãos, um fenômeno comparável ao endurecimento observado durante o aquecimento de vegetais em temperaturas acima de 50 °C, atribuído à desmetoxilação da pectina, devido à ação da pectina metil esterase (PME).

No Experimento 02, entre as condições testadas, apenas a utilização da solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) com concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹ foi eficaz na redução do tempo de cocção dos grãos. Essa tendência foi observada em todos os tempos de hidratação (4, 8 e 12 horas), sendo a redução mais significativa observada para o período de 12 horas, com um tempo médio de cocção dos grãos de 8 ± 0,01 minutos, representando redução de cerca de 73% no tempo de cocção dos grãos em relação ao controle. Por outro lado, o uso das soluções de metabissulfito de sódio (Na₂S₂O₅) nas concentrações de 0,50 e 1,00 g.100 ml⁻¹ resultou nos maiores tempos de cozimento dos grãos processados em todos os períodos de hidratação avaliados. O emprego dessas soluções na etapa de hidratação dos grãos resultou em um aumento no tempo de preparo dos grãos, sendo o maior valor observado de 69,5 ± 2,12 minutos, resultando em um acréscimo no tempo de cocção dos grãos de, aproximadamente, 132%.

Os resultados obtidos no presente estudo evidenciam que a utilização de metabissulfito de sódio no processo de hidratação dos grãos de feijão, com o objetivo de reduzir o tempo de cozimento, não é uma opção viável. Embora agentes sulfitantes, como o metabissulfito de sódio, sejam comumente utilizados na indústria de alimentos como aditivos para inibir a deterioração provocada por bactérias, bolores e leveduras, além de inibir reações de escurecimento enzimático e não enzimático, durante o processamento e a estocagem (Favero; Ribeiro; Aquino, 2011), sua aplicação não demonstrou eficácia na redução do tempo de cocção dos grãos de feijão neste estudo.

Para todas as soluções utilizadas, exceto as condições com concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ de carbonato de sódio (Na₂CO₃), houve um aumento significativo no tempo de cozimento dos grãos quando hidratados por um período mais longo (12 horas) em comparação com um período mais curto (4 horas). Os resultados indicam que a hidratação dos grãos por longos períodos com uso dessas soluções contribui para o aumento do tempo de cocção dos grãos, enquanto o uso de carbonato de sódio (Na₂CO₃) no processo de hidratação dos grãos apresenta um maior potencial de redução quando realizado por períodos mais longos.

Dentre todas as soluções testadas, em ambos os experimentos, apenas a solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) com concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹ no processo de hidratação dos grãos (Experimento 02) apresentou redução significativa do tempo de cozimento, registrando valores inferiores a 25 minutos. Ressalta-se que variedades de feijão com tempo de cocção inferior a 25 minutos são consideradas de rápida cocção (Santos; Ribeiro; Maziero, 2016; Steckling et al., 2017).

A redução do tempo de cozimento dos grãos de feijão quando hidratados em solução contendo carbonato de sódio (Na₂CO₃) também foi documentada por outros autores. Wacu et al. (2015) relataram que a inclusão de carbonato de sódio na hidratação de grãos de feijão envelhecidos resultou em redução de até 75% no tempo de cozimento. Resultados semelhantes foram obtidos por Paz et al. (2023), que, ao investigarem os efeitos da hidratação em soluções salinas nos parâmetros de qualidade de grãos de feijão carioca, constataram que a hidratação por um período de 16 horas em solução contendo concentração de 3,00 g.100 ml⁻¹ de carbonato de sódio (Na₂CO₃) reduziu o tempo de cozimento dos grãos em 98,21%.

O tempo de cozimento é um fator crucial de qualidade que influencia diretamente a escolha de uma determinada variedade e impacta significativamente a sua aquisição e consumo. As etapas de processamento exercem uma grande influência nesse parâmetro. Tanto o processo de branqueamento quanto o de hidratação dos grãos são técnicas que podem ser empregadas com o objetivo de reduzir o tempo de preparo. No entanto, as condições utilizadas nessas etapas de processamento podem ter efeitos adversos sobre os

parâmetros de qualidade dos grãos. Estudos sobre as condições e os efeitos do processamento são essenciais para identificar condições de processo que minimizem as alterações de qualidade. Isso é crucial para garantir que as técnicas utilizadas para reduzir o tempo de preparo não comprometam a qualidade nutricional, sensorial e culinária dos grãos.

A capacidade de absorção de água dos grãos após o processamento apresentou média de $79,7 \pm 6,1\%$ para o Experimento 01, com variações entre $68,60 \pm 1,56\%$ e $88,40 \pm 0,30$, e capacidade média de absorção de água de $79,7 \pm 5,9\%$ para o Experimento 02, com variações entre $71,69 \pm 0,37\%$ e $90,78 \pm 0,54\%$. Em ambos os experimentos, houve interação significativa entre os fatores tipo de solução e tempo de processamento (Branqueamento - Experimento 01; Hidratação - Experimento 02) para a variável resposta capacidade de absorção de água, com um nível de significância de 5%. Os resultados obtidos para a capacidade de absorção de água dos grãos processados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Valores médios de capacidade de absorção de água (%) de grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Experimento 01 - Branqueamento			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (segundos)		
	30	105	180
H ₂ O	85,55 Aa ± 1,23	78,20 Ba ± 0,17	77,02 Babc ± 0,92
NaHCO ₃ - 0,75	88,12 Aa ± 0,75	82,52 Ba ± 0,84	75,07 Cbcd ± 3,05
NaHCO ₃ - 1,50	85,33 Aa ± 1,55	76,74 Bab ± 0,16	74,23 Bbcd ± 1,50
Na ₂ CO ₃ - 0,75	85,41 Aa ± 1,88	73,93 Bb ± 0,34	68,60 Cd ± 1,56
Na ₂ CO ₃ - 1,50	85,85 Aa ± 1,64	73,97 Bb ± 4,32	71,32 Bcd ± 1,65
Na ₂ S ₂ O ₅ - 0,50	88,13 Aa ± 0,56	77,89 Bab ± 2,20	80,32 Bab ± 3,95
Na ₂ S ₂ O ₅ - 1,00	87,26 Aa ± 0,95	78,02 Bab ± 0,04	83,23 Aa ± 1,08
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	87,75 Aa ± 1,68	79,37 Bab ± 2,43	72,46 Ccd ± 5,16
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	88,40 Aa ± 0,30	73,90 Bb ± 0,86	71,63 Bcd ± 2,95
Experimento 02 - Hidratação			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (horas)		
	4	8	12
H ₂ O	85,77 Aa ± 0,97	88,92 Aa ± 1,20	87,85 Aab ± 1,36
NaHCO ₃ - 0,75	79,44 Aab ± 0,14	79,27 Abc ± 0,84	80,06 Abcd ± 1,16
NaHCO ₃ - 1,50	76,04 Bb ± 0,65	79,64 Bbc ± 0,04	89,80 Aa ± 0,06
Na ₂ CO ₃ - 0,75	73,77 Bb ± 0,80	75,22 Bc ± 6,49	82,04 Aabc ± 2,14
Na ₂ CO ₃ - 1,50	75,31 Bb ± 2,01	77,30 Bc ± 2,48	84,87 Aabc ± 4,78
Na ₂ S ₂ O ₅ - 0,50	76,26 Ab ± 1,18	71,69 Ac ± 0,37	72,54 Ad ± 0,50
Na ₂ S ₂ O ₅ - 1,00	72,81 Ab ± 0,59	75,49 Ac ± 4,60	73,47 Ad ± 4,10
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	85,13 Aa ± 2,09	90,78 Aa ± 0,54	78,28 Bcd ± 3,34
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	79,33 Bab ± 0,49	86,87 Aab ± 2,59	73,81 Bd ± 1,56

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis do tempo de processamento (branqueamento ou hidratação). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

Para o Experimento 01, observou-se que o branqueamento por 30 segundos, em todas as condições de soluções utilizadas, resultou em maior capacidade de absorção de água pelos grãos em comparação com o branqueamento realizado por 105 e 180 segundos. Em relação à efetividade das soluções, para o branqueamento de 30 segundos, não houve diferença estatística entre as soluções utilizadas, ou seja, a realização da etapa de branqueamento por 30 segundos com as diferentes soluções não afetou a capacidade de absorção de água dos grãos. Por outro lado, observou-se que o aumento do tempo de branqueamento reduziu a capacidade de absorção de água pelos grãos em todas as soluções, indicando que maiores tempos de branqueamento reduzem a capacidade de absorção de água dos grãos.

De acordo com Urga et al. (2006), o processo de branqueamento em grãos de leguminosas desencadeia um impacto significativo na taxa de absorção de água, em virtude das modificações promovidas na integridade do tegumento, incluindo a ruptura do hilo, o que facilita o acesso acelerado da água. Em estudo conduzido por Gowen et al. (2007), investigando o efeito do branqueamento e da maceração na absorção de água e na textura de grãos de feijão, verificou-se maior capacidade de absorção de água dos grãos quando submetidos ao processo de branqueamento prévio. No entanto, essa relação não foi observada no presente estudo, em que os valores de capacidade de absorção de água registrados foram próximos aos dos grãos não processados quando branqueados por 30 segundos e apresentaram redução quando branqueados por períodos mais longos (105 e 180 segundos).

Para o Experimento 02, a utilização de diferentes soluções, incluindo aquelas contendo H_2O , NaHCO_3 em concentração de $0,75 \text{ g.100 ml}^{-1}$, e $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ em concentrações de $0,50$ e $1,00 \text{ g.100 ml}^{-1}$, não apresentaram variações estatísticas significativas nos diferentes períodos de hidratação. Por outro lado, as soluções contendo $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ nas concentrações de $0,75$ e $1,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$, revelaram maior capacidade de absorção de água durante o período de 8 horas de hidratação. Observou-se que as demais soluções apresentaram capacidade de absorção de água superior no período de 12 horas de imersão. Durante o período de 4 horas de hidratação, constatou-se que a maior capacidade de absorção de água foi alcançada com o uso das soluções contendo H_2O , NaHCO_3 na concentração de $0,75 \text{ g.100 ml}^{-1}$, e $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ nas concentrações de $0,75$ e $1,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$, as quais não exibiram diferenças estatisticamente significativas entre si. Já no período de 8 horas, a máxima absorção de água foi obtida quando empregadas as soluções contendo H_2O e $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ nas concentrações de $0,75$ e $1,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$. Por fim, no período de 12 horas de hidratação, a maior capacidade de absorção de água foi evidenciada com o uso das soluções contendo H_2O , NaHCO_3 em concentração de $1,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$, e Na_2CO_3 com concentrações de $0,75$ e $1,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$.

A hidratação dos grãos de feijão representa uma etapa crucial no processamento industrial, permitindo a absorção de água e desempenhando um papel fundamental na garantia da textura macia do produto. Conforme destacado por Zamindar et al. (2013), o processo de hidratação aumenta o teor de água nos grãos antes do cozimento, acelerando reações químicas como a gelatinização do amido e a desnaturação proteica durante a cocção.

A maior capacidade de absorção de água pelos grãos de feijão tem sido relacionada, de forma direta, ao menor tempo de cocção. A literatura tem apontado para a relação entre o percentual de absorção de água e o tempo de cocção com uma média para absorção de água pelo grão superior a 80%, associada a uma rápida cocção (Rodrigues et al., 2005, Schoeninger et al., 2014b; Silochi et al., 2016a). Contudo, essa relação direta é encontrada apenas por alguns autores, na medida em que não é regra, porque nem sempre a maior capacidade de hidratação dos grãos é um indicativo de menor tempo de cocção (Corte et al., 2003).

A adição de soluções químicas durante o processo de hidratação de grãos de feijão pode afetar sua capacidade de absorção de água, porém, isso não está necessariamente correlacionado com o tempo de cozimento. Paz et al. (2023), em seu estudo com grãos de feijão submetidos à hidratação em soluções químicas, observaram que os grãos que absorveram mais água não apresentaram um tempo de cocção mais curto. Verificou-se que o tipo de solução utilizada teve influência sobre o tempo de cozimento, mas não mantinha relação direta com a capacidade de absorção de água pelos grãos. Portanto, torna-se evidente que os padrões de absorção de água pelos grãos são influenciados pelas características específicas do processo e dos materiais empregados.

Para atender ao pressuposto de normalidade dos dados, os dados obtidos para a análise de porcentagem de grãos danificados, no Experimento 01 (branqueamento), foram transformados pela função logarítmica ($y = \log(x)$). A porcentagem de grãos danificados após o processamento apresentou média de $10,35 \pm 2,61\%$ para o Experimento 01, com variações entre $6,85 \pm 0,21\%$ e $20,55 \pm 7,56\%$, e porcentagem média de grãos danificados de $11,50 \pm 5,15\%$ para o Experimento 02, com variações entre $4,75 \pm 0,49\%$ e $29,95 \pm 2,98\%$. Em ambos os experimentos, observou-se interação significativa entre os fatores tipo de solução e tempo de processamento (Branqueamento - Experimento 01; Hidratação - Experimento 02) para a variável resposta porcentagem de grãos danificados, com um nível de significância de 5%. Os resultados obtidos para a porcentagem de grãos danificados após o processamento são apresentados na Tabela 5.

Para o Experimento 01, o uso de soluções contendo NaHCO_3 em concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ em concentração de 1,00 g.100 ml⁻¹, e $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹, não demonstrou diferenças significativas nos diferentes períodos de branqueamento. No entanto, observou-se que as soluções contendo

Na_2CO_3 nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ resultaram em um aumento no nível de danos aos 180 segundos de branqueamento em comparação com o período de 30 segundos. Quanto à eficácia das soluções dentro dos diferentes períodos de branqueamento, para os tempos de 30 e 105 segundos, não houve diferença estatística entre as soluções utilizadas. Isso sugere que, até 105 segundos de branqueamento, o nível de dano do produto é influenciado principalmente pelo tempo de processamento. Porém, aos 180 segundos de branqueamento, as soluções contendo Na_2CO_3 nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ resultaram em um maior nível de danos no produto.

Tabela 5 Valores médios de porcentagem de danos (%) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Experimento 01 – Branqueamento			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (segundos)		
	30	105	180
H ₂ O	12,40 Aa ± 2,98	8,40 Ba ± 0,56	8,60 ABbc ± 2,41
NaHCO ₃ - 0,75	9,40 Aa ± 1,55	8,00 Aa ± 1,27	10,95 Abc ± 1,20
NaHCO ₃ - 1,50	8,85 Aa ± 0,07	8,85 Aa ± 0,07	9,15 Abc ± 1,34
Na ₂ CO ₃ - 0,75	8,90 Ba ± 1,13	8,70 Ba ± 0,00	13,70 Aab ± 5,09
Na ₂ CO ₃ - 1,50	10,40 Ba ± 1,13	8,70 Ba ± 0,56	20,55 Aa ± 7,56
NaS ₂ O ₅ - 0,50	11,00 Aa ± 1,97	9,15 ABa ± 0,91	6,85 Bc ± 0,21
NaS ₂ O ₅ - 1,00	11,25 Aa ± 2,89	8,90 Aa ± 0,98	9,15 Abc ± 0,77
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	11,05 Aa ± 0,07	11,65 Aa ± 0,35	9,80 Abc ± 1,69
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	13,45 Aa ± 0,49	11,15 Aa ± 1,34	10,65 Abc ± 1,20
Experimento 02 - Hidratação			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (horas)		
	4	8	12
H ₂ O	11,10 Ac ± 2,54	14,05 Aabc ± 0,91	10,75 Abc ± 1,62
NaHCO ₃ - 0,75	10,35 Acd ± 0,77	9,10 Acdef ± 2,68	7,65 Ac ± 1,20
NaHCO ₃ - 1,50	9,38 Acd ± 1,34	7,65 Adef ± 1,20	8,40 Abc ± 0,70
Na ₂ CO ₃ - 0,75	5,85 Bd ± 1,34	4,75 Bf ± 0,49	9,75 Abc ± 0,63
Na ₂ CO ₃ - 1,50	6,80 Acd ± 0,98	6,55 Aef ± 1,90	7,55 Ac ± 0,63
NaS ₂ O ₅ - 0,50	10,15 Acd ± 0,21	10,05 Acde ± 1,20	12,55 Aabc ± 0,21
NaS ₂ O ₅ - 1,00	11,75 Ac ± 1,76	12,35 Abcd ± 1,06	11,35 Aabc ± 3,88
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	17,10 Ab ± 0,14	17,15 Aab ± 0,35	13,40 Bab ± 0,14
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	29,95 Aa ± 2,98	18,90 Ba ± 1,41	16,30 Ba ± 1,41

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis do tempo de processamento (branqueamento ou hidratação). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

No Experimento 02, observou-se que, com exceção das soluções contendo Na_2CO_3 na concentração de 0,75 g.100 ml⁻¹ e $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹, todas as demais não apresentaram diferenças significativas nos diferentes tempos de hidratação. Em relação à efetividade das soluções dentro dos níveis de hidratação, as soluções contendo $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ apresentaram um

maior nível de danos em todos os tempos de hidratação, sem diferenças estatísticas em comparação com a solução de H_2O no período de 8 horas de hidratação e da solução de NaS_2O_5 nas concentrações de 0,50 e 1,00 g.100 ml⁻¹ no período de 12 horas de hidratação. Embora as soluções contendo Na_2CO_3 nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ não tenham apresentado diferenças estatísticas em relação a outras soluções em diferentes tempos de hidratação, elas foram as únicas que registraram os menores níveis de danos em todos os períodos de hidratação. Isso sugere que o uso dessas soluções reduz o nível de dano no produto após o processamento, independentemente do tempo de hidratação utilizado.

O nível de dano durante o processamento do feijão seco de cozimento rápido, notadamente, está associado principalmente à etapa de secagem. Essa fase assume particular importância ao se almejar obter grãos de feijão na forma seca, visto que a secagem é essencial para mitigar a quantidade de água absorvida pelo grão ao longo do processo. A etapa de secagem não apenas influencia diretamente na umidade final do feijão processado, mas também afeta a ocorrência de defeitos no produto (Pedone et al., 2024). Conforme ressaltado por Zhao e Chang (2008), a separação entre os cotilédones e as fissuras no tegumento do feijão está intrinsecamente relacionada às interações entre as pressões de vapor presente no grão e no ar de secagem.

Schoeninger et al. (2014a), ao investigarem a otimização de parâmetros de processamento para a obtenção de grãos de feijão seco de cozimento rápido, observaram que a etapa de secagem exerceu influência significativa no índice de danos do produto processado. Uma mudança na temperatura de secagem, de 40 para 60 °C, resultou em um aumento de 1,29% no número de grãos partidos e quebrados. Além disso, identificaram que temperaturas em torno de 55 °C representam a condição de processo que minimiza os danos nos grãos de feijão seco de cozimento rápido. Resultados congruentes foram corroborados por Pedone et al. (2024), cujo estudo visava examinar o impacto de diversas temperaturas de secagem nas qualidades físicas, químicas e de digestibilidade de grãos de feijão desidratados de cozimento rápido. Verificou-se que temperaturas mais elevadas (60 °C) ocasionaram danos mais significativos, alcançando até 36,35%.

O índice de danos nos grãos de feijão após as etapas de processamento também pode ser associado à qualidade da matéria-prima utilizada. Com o propósito de obter uma matéria-prima de melhor qualidade, Pan et al. (2010) sugerem que os grãos possam ser classificados antes de receberem o processamento, utilizando métodos como a detecção de impacto acústico e a separação por densidade, possibilitando a utilização apenas dos grãos com menor probabilidade de apresentarem danos após o processamento.

Além disso, a alteração no nível de dano no produto, quando utilizadas soluções químicas no processo pode estar ligado ao modelo pectina-cátion-fitato. Em que as diferentes

soluções podem aumentar a solubilidade da proteína e/ou promover a troca iônica, substituindo alguns dos cátions divalentes, como o cálcio. Isso pode enfraquecer as ligações cruzadas e diminuir a resistência dos grãos (Pirhayati; Soltanizadeh; Kadivar, 2011).

Para os parâmetros de cor dos grãos processados, verificou-se luminosidade (L^*) média de $42,6 \pm 6,58$ para o Experimento 01, com variações entre $31,9 \pm 0,11$ e $53,5 \pm 0,21$ e de $46,2 \pm 4,51$ para o Experimento 02, com variações entre $38,5 \pm 1,06$ e $53,1 \pm 0,77$. No Experimento 01, observou-se interação significativa entre os fatores tipo de solução e tempo de processamento (branqueamento), ao nível de 5% de significância. Por outro lado, no Experimento 02, observou-se efeito significativo apenas para a variável tipo de solução. Os resultados relativos à luminosidade dos grãos processados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Valores médios de luminosidade (L^*) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Experimento 01 - Branqueamento			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (segundos)		
	30	105	180
H ₂ O	48,4 Aa $\pm$ 0,98	42,2 Bb $\pm$ 0,14	46,5 Ab $\pm$ 0,35
NaHCO ₃ - 0,75	44,5 Abc $\pm$ 1,62	36,5 Cc $\pm$ 0,50	40,6 Bc $\pm$ 0,63
NaHCO ₃ - 1,50	44,7 Ab $\pm$ 1,97	34,9 Ccd $\pm$ 0,21	39,9 Bc $\pm$ 0,21
Na ₂ CO ₃ - 0,75	38,4 Ad $\pm$ 0,28	32,3 Cd $\pm$ 0,14	35,8 Bd $\pm$ 1,06
Na ₂ CO ₃ - 1,50	34,2 Ae $\pm$ 0,49	32,8 Ad $\pm$ 0,28	31,9 Ae $\pm$ 0,11
NaS ₂ O ₅ - 0,50	44,7 Bb $\pm$ 1,97	43,8 Bb $\pm$ 1,06	51,4 Aa $\pm$ 0,91
NaS ₂ O ₅ - 1,00	41,5 Bc $\pm$ 0,91	42,2 Bb $\pm$ 0,28	50,8 Aa $\pm$ 0,35
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	43,1 Bbc $\pm$ 1,13	50,4 Aa $\pm$ 0,35	52,4 Aa $\pm$ 0,70
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	42,6 Bbc $\pm$ 0,98	51,7 Aa $\pm$ 1,69	53,5 Aa $\pm$ 0,21
Experimento 02 - Hidratação			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (horas)		
	4	8	12
H ₂ O	50,7 AB $\pm$ 0,77	50,4 AB $\pm$ 0,07	49,15 AB $\pm$ 0,35
NaHCO ₃ - 0,75	47,3 CD $\pm$ 0,77	46,9 CD $\pm$ 0,1	45,75 CD $\pm$ 3,04
NaHCO ₃ - 1,50	44,5 E $\pm$ 0,56	44,4 E $\pm$ 1,48	42,7 E $\pm$ 1,34
Na ₂ CO ₃ - 0,75	41,4 F $\pm$ 0,84	41,5 F $\pm$ 2,40	40,3 F $\pm$ 0,84
Na ₂ CO ₃ - 1,50	38,5 F $\pm$ 1,06	38,6 F $\pm$ 0,77	38,8 F $\pm$ 0,98
NaS ₂ O ₅ - 0,50	49,9 AB $\pm$ 1,13	49 AB $\pm$ 0,28	53,1 AB $\pm$ 0,77
NaS ₂ O ₅ - 1,00	52,4 A $\pm$ 1,83	51,2 A $\pm$ 1,27	52,4 A $\pm$ 2,40
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	50,8 BC $\pm$ 1,83	46,4 BC $\pm$ 1,69	48,4 BC $\pm$ 0,14
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	46,8 DE $\pm$ 1,97	42,6 DE $\pm$ 1,41	45 DE $\pm$ 0,35

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições $\pm$ desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis do tempo de processamento (branqueamento ou hidratação). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

Para o Experimento 01, o branqueamento realizado por períodos superiores a 30 segundos resultou em maior redução da luminosidade dos grãos quando branqueados em soluções de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ e na solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) na concentração de 0,75 g.100 ml⁻¹. Por outro

lado, efeito inverso foi observado para as soluções de metabissulfito de sódio (NaS_2O_5) e ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), que resultaram em aumento da luminosidade dos grãos, quando o tempo de branqueamento foi alterado de 30 para 180 segundos. Em relação à efetividade das soluções, em todos os tempos avaliados, as soluções de metabissulfito e ácido ascórbico contribuíram para menor redução da luminosidade dos grãos após o processamento.

Para o Experimento 02, a imersão dos grãos em solução contendo carbonato de sódio (Na_2CO_3) nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ resultou em maior redução da luminosidade dos grãos, indicando escurecimento após o processamento. Em contrapartida, a imersão dos grãos em solução contendo metabissulfito de sódio (NaS_2O_5) nas concentrações de 0,50 e 1,00 g.100 ml⁻¹ contribui para uma maior preservação da luminosidade dos grãos, não apresentando diferenças estatisticamente significativas em comparação com a imersão somente em água. Em ambos os experimentos, os valores de luminosidade, observados em todas as condições de processamento, estão abaixo dos valores registrados para os grãos controle ($L^* = 6,3 \pm 1,11$), indicando que o processamento dos grãos de feijão por branqueamento ou hidratação resulta em redução da luminosidade.

A redução da luminosidade quando utilizadas soluções de bicarbonato de sódio e carbonato de sódio pode ser atribuída à interação desses compostos com enzimas responsáveis por reações de escurecimentos, como as polifenol oxidases, cuja ação é favorecida em meios mais alcalinos. Isso acelera o processo de escurecimento dos grãos, resultando em redução da luminosidade. Por outro lado, o efeito das soluções de metabissulfito e ácido ascórbico na luminosidade dos grãos está relacionado ao fato de esses agentes químicos serem capazes de bloquear as reações de escurecimento, contribuindo para uma menor alteração de cor no produto (Araújo, 2012).

Segundo Xiao et al. (2017), agentes redutores como metabissulfito de sódio são frequentemente utilizados nas indústrias de processamento, em etapas como o branqueamento, para preservar a cor do produto e inativar a atividade microbiana. Celestino (2010) destaca que a utilização de substâncias químicas redutoras, como os sulfitos e o ácido ascórbico, além de inibir as reações de escurecimento, podem apresentar potencial clareador, permitindo o uso de temperaturas mais elevadas nas etapas de processamento.

A diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle foi em média de $14,54 \pm 6,85$ para o Experimento 01, com variações entre $4,68 \pm 1,70$ e $26,36 \pm 0,14$ e de $11,13 \pm 4,41$ para o Experimento 02, com variações entre $5,29 \pm 1,33$ e $19,09 \pm 0,97$. Para o Experimento 01, observou-se interação significativa entre os fatores tipo de solução e tempo de processamento (branqueamento) para a variável resposta diferença de cor dos grãos processados, em relação ao controle, com um nível de significância de 5%. Por outro lado, no Experimento 02, observou-se um efeito significativo apenas para a variável tipo de solução.

Os resultados relativos à diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle estão apresentados na Tabela 7.

Para o Experimento 01, o branqueamento realizado pelo período de 105 segundos, com exceção das condições de processamento que utilizaram soluções contendo ácido ascórbico nas concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹, resultou em maior diferença de cor no produto após o processamento. No entanto, o tempo de 105 segundos não apresentou diferença significativa em comparação com o tempo de 30 segundos para as soluções contendo metabissulfito de sódio nas concentrações de 0,50 e 1,00 g.100 ml⁻¹, e com o tempo de 180 segundos para a solução contendo carbonato de sódio na concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹. Em relação ao efeito das soluções, observou-se que a condição que empregou a concentração de 1,50 g.100 ml⁻¹ de carbonato de sódio resultou na maior alteração de cor dos grãos, em todos os tempos de branqueamento analisados (Tabela 7).

Tabela 7 Valores médios de diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Experimento 01 - Branqueamento			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (segundos)		
	30	105	180
H ₂ O	8,14 Be ± 1,20	15,11 Ac ± 0,46	10,08 Bd ± 0,72
NaHCO ₃ - 0,75	12,10 Cd ± 1,79	20,90 Ab ± 0,67	16,35 Bc ± 0,73
NaHCO ₃ - 1,50	12,17 Cd ± 2,16	22,59 Aab ± 0,17	17,22 Bc ± 0,21
Na ₂ CO ₃ - 0,75	18,80 Cb ± 0,41	25,62 Aa ± 0,16	21,61 Bb ± 1,16
Na ₂ CO ₃ - 1,50	23,35 Ba ± 0,82	25,04 Aba ± 0,23	26,36 Aa ± 0,14
NaS ₂ O ₅ - 0,50	12,17 Ad ± 2,29	13,36 Ac ± 0,91	5,58 Be ± 1,15
NaS ₂ O ₅ - 1,00	15,69 Abc ± 1,04	15,37 Ac ± 0,11	6,07 Be ± 0,10
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	13,86 Acd ± 1,35	6,32 Bd ± 0,36	5,02 Be ± 0,51
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	14,43 Acd ± 1,20	4,68 Bd ± 1,70	4,75 Be ± 0,96

Experimento 02 - Hidratação			
Tipo de solução (g.100 ml⁻¹)	Tempo de processamento (horas)		
	4	8	12
H ₂ O	6,66 FG ± 0,70	6,79 FG ± 0,12	7,99 FG ± 0,11
NaHCO ₃ - 0,75	10,41 DE ± 0,72	10,44 DE ± 0,31	11,41 DE ± 2,88
NaHCO ₃ - 1,50	12,99 C ± 0,48	12,87 C ± 1,01	14,31 C ± 1,31
Na ₂ CO ₃ - 0,75	16,08 B ± 0,57	15,68 B ± 2,49	17,03 B ± 0,77
Na ₂ CO ₃ - 1,50	19,09 A ± 0,97	18,95 A ± 1,04	18,82 A ± 1,06
NaS ₂ O ₅ - 0,50	7,34 FG ± 0,84	7,90 FG ± 0,33	5,42 FG ± 0,28
NaS ₂ O ₅ - 1,00	5,39 G ± 1,68	6,33 G ± 0,65	5,29 G ± 1,33
C ₆ H ₈ O ₆ - 0,75	7,24 EF ± 1,06	10,48 EF ± 1,57	9,23 EF ± 0,45
C ₆ H ₈ O ₆ - 1,50	10,50 CD ± 1,55	14,12 CD ± 1,35	11,97 CD ± 0,34

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis do tempo de processamento (branqueamento ou hidratação). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

No Experimento 02, não se observou efeito significativo do tempo de hidratação sobre a diferença de cor dos grãos após o processamento. No entanto, as condições que utilizaram

as concentrações de 0,75 e 1,50 g.100 ml⁻¹ de carbonato de sódio (Na₂CO₃) resultaram em maior alteração de cor dos grãos processados em relação ao controle. Por outro lado, em todos os tempos de imersão, as condições que utilizaram concentrações de 0,50 e 1,00 g.100 ml⁻¹ de metabissulfito de sódio (NaS₂O₅) apresentaram menor alteração de cor dos grãos processados em relação ao controle, não diferindo estatisticamente ao nível de 5% de significância da imersão somente em água (H₂O).

Os resultados obtidos nesta pesquisa, sobre a alteração de cor dos grãos após as etapas de branqueamento e hidratação, corroboram as pesquisas de outros autores. Buzera et al. (2018) verificaram que a hidratação de grãos de feijão em soluções contendo carbonato de sódio (Na₂CO₃) resultava em escurecimento dos grãos após o processo de hidratação. Schoeninger et al. (2014a), em estudo para otimização de processos para a produção de grãos de feijão de cozimento rápido, observaram que o tempo de branqueamento e o tipo de solução utilizada apresentavam um efeito significativo sobre a cor dos grãos, aumentando a diferença de cor após as etapas de processamento. Além disso, Paz et al. (2023) constataram que a adição de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) e carbonato de sódio (Na₂CO₃) na água de hidratação de grãos de feijão carioca resultava em escurecimento dos grãos após o período de imersão.

A alteração de coloração dos grãos pode ser explicada por vários mecanismos envolvidos durante a imersão do feijão em diferentes soluções. Durante o processamento de alimentos, ocorrem vários tipos de reações oxidativas, que provocam escurecimento, bem como alterações no sabor, odor e textura, além de perda do valor nutritivo devido à destruição de vitaminas e ácidos graxos essenciais. Os efeitos das soluções sobre a diferença de cor dos grãos podem estar relacionados à alteração do pH, que pode favorecer a ocorrência de reações de escurecimento enzimático e não enzimático. A reação de escurecimento enzimático possui um pH ótimo de atuação acima de 6, sendo as enzimas inativa em pH 4,0 ou abaixo. No escurecimento não enzimático, a intensidade das reações aumenta quase linearmente na faixa de pH 3 a 8, atingindo descoloração máxima na faixa alcalina de pH 9 a 10 (Araújo, 2012).

4.3.2 Segunda etapa: Caracterização tecnológica, química e de metabólitos secundários dos grãos de feijão processados

O experimento utilizado para a realização da segunda etapa foi definido com base nos resultados obtidos nos experimentos anteriores. Nesta etapa, para o processamento dos grãos, foi selecionado o fator branqueamento com tempo de 30 segundos (Experimento 01),

pois manteve os parâmetros de qualidade dos grãos após o processamento próximos dos valores registrados para o grão não processado (controle), em comparação com os outros tempos de branqueamento. Optou-se por testar a solução de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) na concentração de $0,75 \text{ g.100 ml}^{-1}$ e a solução de metabissulfito de sódio (NaS_2O_5) na concentração de $0,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$ na etapa de branqueamento, devido à menor alteração de cor dos grãos após o branqueamento por 30 segundos.

Além disso, foi selecionado o tempo de hidratação de 12 horas (Experimento 02) e o uso da solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) na concentração de $1,50 \text{ g.100 ml}^{-1}$ na hidratação, devido ao seu potencial de redução do tempo de cozimento dos grãos. A maior redução do tempo de cozimento foi registrada com a solução de carbonato de sódio durante 12 horas de hidratação. Observou-se também redução no nível de dano ao produto quando os grãos foram hidratados por 12 horas. O experimento consistiu em seis tratamentos mais o controle, conduzidos em três repetições para cada. O número de tratamentos foi determinado considerando a combinação dos fatores selecionados. A descrição detalhada dos tratamentos está apresentada na Tabela 2.

A Tabela 8 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos processados e do controle, avaliados conforme o delineamento proposto. Para a análise de danos e diferença de cor dos grãos processados, o tratamento denominado controle não foi incluído na análise estatística, visto que a quantidade de danos é relativa aos processos aos quais os grãos foram submetidos, e os grãos considerados controle não passaram por nenhum processamento. Em relação ao parâmetro de diferença de cor dos grãos processados, essa variável resposta é avaliada em comparação aos grãos controle. Portanto, não é possível realizar a análise de alteração de cor nos grãos controle, uma vez que eles são considerados o padrão para essa avaliação.

O tempo de cozimento (TC) apresentou média geral de $19,63 \pm 5,08$ minutos, com variações entre $14,1 \pm 0,90$ minutos (T5) e $30 \pm 1,00$ minutos (Controle). Observou-se que todos os tratamentos apresentaram diferença estatística significativa em relação aos grãos controle, registrando redução no tempo de cocção. O menor tempo de cozimento foi observado para o tratamento T5, que apresentou redução de, aproximadamente, 53% no tempo de cocção dos grãos.

Tabela 8 Valores médios de tempo de cozimento (TC), capacidade de absorção de água (ABS), porcentagem de grãos danificados (PGD), luminosidade (L^*) e diferença de cor (Δe^*) dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Tratamentos	TC (minutos)	ABS (%)	PGD (%)	L^*	Δe^*
Controle	30 a $\pm$ 1,00	86,2 a $\pm$ 0,68	-	56,7 c $\pm$ 0,82	-
T1	20,5 b $\pm$ 0,95	83,4 a $\pm$ 1,27	23 b $\pm$ 2,16	70,4 b $\pm$ 1,40	10,0 b $\pm$ 1,10
T2	18,8 bc $\pm$ 0,59	86,3 a $\pm$ 1,13	22,9 b $\pm$ 2,30	72,5 ab $\pm$ 0,61	7,9 b $\pm$ 0,50
T3	17,5 cd $\pm$ 0,79	71,2 c $\pm$ 1,53	30,3 a $\pm$ 4,06	41,4 d $\pm$ 2,56	38,7 a $\pm$ 2,54
T4	16,33 d $\pm$ 0,61	75,2 b $\pm$ 0,98	23,7 b $\pm$ 1,70	42,3 d $\pm$ 2,15	37,4 a $\pm$ 2,10
T5	14,1 e $\pm$ 0,90	75,8 b $\pm$ 1,81	23,2 b $\pm$ 2,06	45,7 d $\pm$ 3,95	34,0 a $\pm$ 3,78
T6	20,16 b $\pm$ 0,76	83,5 a $\pm$ 2,25	22,0 b $\pm$ 1,74	78,5 a $\pm$ 2,51	7,8 b $\pm$ 2,51

Notas: *Tratamento 01 (T1): branqueamento em água destilada seguido de hidratação em água destilada; Tratamento 02 (T2): branqueamento em solução de ácido ascórbico, seguido por hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 03 (T3): branqueamento em água destilada seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 04 (T4): branqueamento em solução de ácido ascórbico, seguido de hidratação em água destilada. Tratamento 05 (T5): branqueamento em solução de metabissulfito de sódio, seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 06 (T6): branqueamento em solução de metabissulfito de sódio, seguido de hidratação em água destilada.

**Os resultados são as médias de três repetições $\pm$ desvio padrão.

***Letras iguais, indicam médias estatisticamente iguais a 5% de significância.

Os resultados observados para a redução do tempo de cocção dos grãos após o processamento estão de acordo com a literatura. Munthali et al. (2022), ao estudarem o efeito da imersão de grãos de oito variedades de feijão comum em quatro tipos de soluções, verificaram que a imersão dos grãos, independentemente do tipo de solução, reduziu significativamente o tempo de cocção dos grãos, inclusive na condição de imersão apenas em água. Esse achado é corroborado pelos resultados do presente estudo, no qual a imersão dos grãos apenas em água (T1) também reduziu o tempo de cozimento. Didinger et al. (2023), em estudos realizado sobre os efeitos da imersão de grãos de feijão em diferentes tipos de solução, relataram que, embora a imersão somente em água tenha reduzido significativamente o tempo de cozimento dos grãos, o uso de soluções químicas no processo de hidratação dos grãos apresentou maior percentual de redução no tempo de cocção em comparação aos grãos hidratados somente em água.

Paz et al. (2023) verificaram que a adição de solutos ao processo de hidratação de grãos de feijão, como carbonato de sódio (Na_2CO_3) utilizado no presente estudo, reduziu o tempo de cocção dos grãos de feijão da variedade carioca em até 95%. Resultados semelhantes foram observados por Wacu et al. (2015), que relataram que a adição de carbonato de sódio (Na_2CO_3) na hidratação de grãos de feijão envelhecidos das cultivares Rose Coco e Red Kidney reduziu o tempo de cozimento em 75% e 70%, respectivamente.

A capacidade de absorção de água dos grãos (ABS) apresentou média geral de $80,25 \pm 6,03\%$, com variações entre $71,26 \pm 1,53\%$ (T3) e $86,23 \pm 0,68\%$ (Controle). Observou-se que os tratamentos T1, T2 e T6 não apresentaram diferença estatística do

controle, representando as maiores médias de capacidade de absorção de água pelos grãos. Ou seja, o processamento nas condições estipuladas pelos respectivos tratamentos (T1, T2 e T6), não alteram a capacidade de hidratação dos grãos. A menor capacidade de absorção de água foi observada para o tratamento T3, com o uso da solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) no processo de hidratação.

A redução da capacidade de absorção de água pelos grãos, quando submetidos à imersão em soluções contendo carbonato de sódio (Na_2CO_3), foi observada em estudos anteriores (Buzera et al., 2018; Paz et al., 2023). Embora se espere que uma maior capacidade de absorção de água pelos grãos esteja associada a um tempo reduzido de preparo, tal correlação não é universal. Silochi et al. (2016b), em investigação sobre diferentes genótipos de feijão comum, constataram que os genótipos com maior capacidade de absorção de água não necessariamente apresentavam o menor tempo de cocção. Esse fenômeno também foi observado no presente estudo, em que as condições de processamento que resultaram em maior capacidade de absorção de água pelos grãos não corresponderam consistentemente às que apresentaram o menor tempo de cocção. Tal discrepância foi evidenciada nos ensaios T3, T4 e T5, os quais, embora tenham demonstrado os menores tempo de cocção, registraram as menores capacidades de absorção de água. Esses resultados sugerem que outros fatores além da capacidade de absorção de água podem influenciar o tempo de cocção dos grãos de feijão, destacando a complexidade envolvida nos processos de preparo desses alimentos.

A porcentagem de grãos danificados (PGD) após o processamento apresentou média geral de $24,18 \pm 3,04\%$, com variações entre $22,03 \pm 1,74\%$ (T6) e $30,30 \pm 4,06\%$ (T3). Observou-se que apenas o tratamento T3 apresentou diferença significativa, registrando a maior porcentagem de danos nos grãos após as etapas de processamento.

Conforme destacado por Pan et al. (2010), o índice de danos no produto processado pode estar correlacionado à qualidade da matéria-prima utilizada. Além disso, no caso do feijão processado na forma seca, a etapa de secagem exerce grande influência na qualidade do produto, não apenas afetando a umidade final, mas também influenciando a ocorrência de defeitos (Pedone et al., 2024).

A utilização de soluções no processo de imersão dos grãos pode resultar em maior nível de dano no produto. Zhao e Chang (2008), constataram que a adição de sais durante o processo de maceração de leguminosas secas (ervilhas verdes, grão-de-bico e lentilhas) resultou em um aumento no número de grãos partidos e danificados. Esses resultados estão em conformidade com os encontrados por Schoeninger et al. (2014a) que, ao estudarem a adição de NaCl e NaHCO_3 no processamento de feijão carioca, observaram que uma alteração na concentração de 0 para 4,5% resultou em um aumento de 3,64% no nível de dano no produto.

A luminosidade dos grãos (L^*) apresentou média geral de $58,2 \pm 14,4$, com variações entre $41,4 \pm 2,56$ (T3) e $78,5 \pm 2,51$ (T6). Observou-se que os tratamentos T3, T4 e T5 reduziram significativamente a luminosidade dos grãos em comparação com o grão controle (T1). Por outro lado, os tratamentos T1, T2 e T6 aumentaram a luminosidade dos grãos após o processamento em relação ao controle.

A luminosidade é um parâmetro que descreve a cor em termos de tonalidade mais clara ou mais escura e é expressa em uma escala de zero a 100, em que zero representa o preto absoluto e 100 representa o branco absoluto (Granato; Masson, 2010). Para os grãos de feijão carioca, a medida da luminosidade é de grande importância, pois avalia a claridade dos grãos, fator que influencia diretamente o consumo e a aquisição pelo consumidor. Consumidores de feijão carioca preferem grãos mais claros, associando maior claridade à grãos frescos e de cozimento rápido (Silochi et al., 2021).

Os valores observados no presente estudo para a luminosidade dos grãos, nos tratamentos que não apresentaram redução desse parâmetro, estão acima dos relatados por Ganascini et al. (2014), que verificaram variações de luminosidade entre 52,35 e 58,53 para diferentes variedades de feijão carioca. Resultados semelhantes foram observados por Schoeninger et al. (2014b), com variações entre 52,11 e 52,39, para grãos de feijão carioca produzidos em diferentes sistemas de cultivo.

A redução da luminosidade, quando utilizadas soluções químicas no processamento dos grãos, foi observada por Buzera et al. (2018), que registraram redução da luminosidade dos grãos de feijão da cultivar HM21-7 de 43,3 para 27,78 e da cultivar Namulenga de 57,12 para 21,7, quando utilizaram a hidratação dos grãos em conjunto com solução contendo carbonato de sódio. Segundo os mesmos autores, a hidratação em solução somente com água aumentou a luminosidade dos grãos para 64,11 e 61,04, para as cultivares HM21-7 e Namulenga, respectivamente. Essa observação é corroborada pelos resultados obtidos no presente trabalho, em que a condição de imersão somente em água (T1) aumentou significativamente a luminosidade dos grãos em relação aos grãos controle.

A diferença de cor dos grãos (ΔE^*) processados em relação ao controle apresentou média geral de $22,01 \pm 16,32$, com variações entre $7,86 \pm 2,51$ (T6) e $38,76 \pm 2,54$ (T3). Observou-se que os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram maior alteração da cor nos grãos após o processamento. De forma geral, os grãos que apresentaram maior diferença de cor após o processamento também foram os que apresentaram menor tempo de cocção. A Figura 1 apresenta o aspecto visual dos grãos considerados controle e dos grãos de feijão processados após os 6 tratamentos propostos no planejamento.



Figura 1 Aspecto visual do feijão carioca controle e processado após a realização dos ensaios.

O escurecimento dos grãos após as etapas de processamento pode resultar das reações que ocorrem durante a imersão dos grãos nas diferentes soluções, favorecidas pelas condições da solução. Kinyanjui et al. (2016) observaram o mesmo efeito em quatro variedades de feijão quando adicionaram carbonato de sódio (Na_2CO_3) ao processo de hidratação dos grãos, registrando diminuição da luminosidade e o escurecimento dos grãos. Paz et al. (2023) constataram que a imersão de grãos de feijão em soluções contendo bicarbonato de sódio (NaHCO_3), carbonato de sódio (Na_2CO_3) e carbonato de potássio (K_2CO_3) resultou em um aumento da diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle, ocasionando o escurecimento dos grãos. Segundo os esses autores, o aumento das concentrações na solução de hidratação, consequentemente, aumenta a diferença de cor dos grãos em relação ao controle.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade química dos grãos processados e do controle, avaliados conforme o delineamento proposto. O teor de fibras bruta apresentou média geral de $9,18 \pm 2,32\%$, com variações entre $5,53 \pm 0,51\%$ (Controle) e $12,46 \pm 2,10\%$ (T3). De forma geral, observou-se um acréscimo no teor de fibras dos grãos após o processamento. No entanto, apenas os tratamentos T3 e T5 apresentaram diferença estatística significativa em relação ao controle, indicando que as condições de processo empregadas nesses ensaios aumentam o teor de fibras após as etapas de processamento.

Tabela 9 Valores médios de fibras bruta, proteínas, lipídeos, açúcares redutores e pH, dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Tratamentos	Fibras (%)	Proteínas (%)	Lipídeos (%)	Açúcares (g.100 g ⁻¹)	pH
Controle	5,53 b ± 0,51	21,23 a ± 1,36	1,35 a ± 0,02	0,87 a ± 0,03	5,04 d ± 0,35
T1	8,40 ab ± 1,13	20,06 ab ± 0,55	1,54 a ± 0,03	0,70 bc ± 0,04	5,75 c ± 0,13
T2	9,20 ab ± 2,06	20,20 ab ± 0,26	1,26 a ± 0,02	0,57 c ± 0,07	5,77 c ± 0,11
T3	12,46 a ± 2,10	19,30 b ± 0,10	1,29 a ± 0,24	0,84 ab ± 0,07	6,42 b ± 0,02
T4	9,93 ab ± 2,11	19,50 ab ± 0,20	1,52 a ± 0,01	0,72 bc ± 0,02	7,96 a ± 0,14
T5	11,30 a ± 0,50	18,96 b ± 0,51	1,39 a ± 0,03	0,67 c ± 0,02	7,97 a ± 0,05
T6	7,50 ab ± 3,05	21,10 a ± 0,60	1,29 a ± 0,04	0,59 c ± 0,05	6,06 bc ± 0,09

Notas: *Tratamento 01 (T1): branqueamento em água destilada seguido de hidratação em água destilada; Tratamento 02 (T2): branqueamento em solução de ácido ascórbico, seguido por hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 03 (T3): branqueamento em água destilada seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 04 (T4): branqueamento em solução de ácido ascórbico, seguido de hidratação em água destilada. Tratamento 05 (T5): branqueamento em solução de metabissulfito de sódio, seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 06 (T6): branqueamento em solução de metabissulfito de sódio, seguido de hidratação em água destilada.

**Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

***Letras iguais, indicam médias estatisticamente iguais a 5% de significância.

O teor de fibras é um indicador importante nos feijões, pois, além de representar a porção não digerível do alimento com funções nutricionais significativas para o organismo animal, também é um componente importante na composição da parede celular, contribuindo para a avaliação da qualidade tecnológica em diferentes genótipos de feijão. Além disso, as fibras presentes nos grãos de feijão desempenham um papel vital na redução e prevenção de doenças gastrointestinais e cardiovasculares (Didinger; Thompson, 2022).

Os valores encontrados no presente estudo, com exceção dos tratamentos T3 e T5, que apresentaram aumento significativo no teor de fibra bruta, estão em concordância com os relatados na literatura. Londero, Ribeiro e Cargnelutti Filho (2008), ao avaliarem diferentes genótipos de feijão, encontraram valores de teor de fibra bruta variando de 3,42% a 4,30%. Resultados semelhantes foram observados por Ronko et al. (2021), que, ao estudarem sete variedades de feijão carioca, verificaram variações entre 3,0% e 4,0% no teor de fibra bruta. Adicionalmente, Ribeiro et al. (2005) relataram teores de fibra bruta variando de 5,17% a 3,40% em feijões do grupo preto e de 5,57% a 3,31% em feijões do grupo cor, ao analisarem diferentes genótipos dessas variedades.

Por outro lado, o aumento registrado no teor de fibra bruta pode ser atribuído à utilização das soluções químicas no processo de imersão dos grãos. O uso dessas soluções pode favorecer a ocorrência de hidrólise ácida ou alcalina, resultando na quebra das estruturas complexas de carboidratos presente nos alimentos e tornando as fibras mais acessíveis (Fennema, 1996).

O teor de proteínas total apresentou média geral de $17,19 \pm 7,07\%$, com variações entre $18,96 \pm 0,51\%$ (T5) e $21,23 \pm 1,36\%$ (Controle). Análogo ao efeito observado para o teor de fibras, somente os tratamentos T3 e T5 apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação ao controle, indicando que as condições de processo empregadas nesses tratamentos reduziu o teor de proteínas nos grãos após as etapas de processamento.

Embora as condições de processo utilizadas nos tratamentos T3 e T5 tenham reduzido o teor de proteínas dos grãos, os valores observados estão dentro da faixa registrada por Silochi et al. (2016a), para grãos de feijão da variedade carioca. Esses autores, ao estudarem diferentes variedades de feijão carioca, encontraram valores de proteínas variando entre 17,31% e 20,23%. Resultados congruentes foram observados por Ronko et al. (2021), que registraram valores de teor de proteínas variando entre 17,1% e 20,7% para diferentes variedades de feijão comercial.

A redução do teor de proteínas após o processamento pode ser atribuída à utilização de temperaturas mais elevadas durante as etapas de branqueamento e secagem, além do uso de soluções que favorecem a hidrólise. As proteínas do feijão apresentam digestibilidade reduzida em condições *in natura*, mas essa digestibilidade aumenta após o tratamento térmico (Bonett et al., 2007). De acordo com Danso-Boateng (2013), o aquecimento causa desnaturação de proteínas devido ao enfraquecimento da conformação tridimensional das moléculas de proteína.

Siqueira et al. (2020), em um estudo sobre a qualidade nutricional de feijões submetidos a diferentes temperaturas de secagem, registraram redução significativa no teor de proteínas com o aumento da temperatura do ar de secagem, observando diminuição de 23,47% para 21,13%, quando a temperatura foi alterada de 40 °C para 70 °C. O uso de temperaturas elevadas no processamento dos grãos pode promover alterações físico-químicas, resultando na diminuição dos níveis de proteínas. Essas alterações podem estar relacionadas a processos como desaminação, reações de hidrólise, descarboxilação e complexação com outros componentes (Schuh et al., 2011).

O teor de lipídeos apresentou média geral de $1,37 \pm 0,11\%$, com variações entre $1,26 \pm 0,02\%$ (T2) e $1,54 \pm 0,03\%$ (T1). Para a variável resposta teor de lipídios, não houve diferença estatística significativa, ao nível de 5% de significância. As condições de processamento utilizadas nos diferentes tratamentos não alteraram o conteúdo lipídico dos grãos após as etapas de processamento.

O teor de lipídios em grãos de feijão é muito baixo, podendo oscilar de acordo com a variedade, origem, localização, clima, condições ambientais e tipo de solo no qual se desenvolvem (Geil; Anderson, 1994). Os valores registrados no presente estudo estão de acordo com os observados por Gomes e Silva (2003), que, ao avaliarem o conteúdo lipídico de farinha de grãos de feijão carioca processados por diferentes métodos, verificaram que os

diferentes processos não ocasionaram diferenças estatísticas significativas no teor de lipídeos, registrando valores variando entre 1,05% e 1,18%. Teor de lipídeos semelhantes foram observados por Santos, Luzia e Farias (2023), que, em estudo sobre a composição centesimal de grãos de feijão carioca, encontraram valores de teor lipídico variando entre 1,10% e 1,22%, não diferindo estatisticamente entre os tratamentos.

O teor de açúcares redutores apresentou média geral de $0,7 \pm 0,11 \text{ g.100 g}^{-1}$, com variações entre $0,57 \pm 0,07 \text{ g.100 g}^{-1}$ (T2) e $0,87 \pm 0,03 \text{ g.100 g}^{-1}$ (Controle). Para a variável resposta teor de açúcares redutores, com exceção da condição utilizada no tratamento T3, todas as demais apresentaram redução significativa em relação aos grãos controle.

Os valores registrados estão abaixo dos relatados por outros pesquisadores. Fonseca e Arzolla (1970) encontraram valores para açúcares redutores variando entre $3,00 \text{ g.100 g}^{-1}$ e $3,72 \text{ g.100 g}^{-1}$, para diferentes cultivares de feijão. Valores semelhantes foram observados por Bezerra et al. (2019), que, em estudo com oito diferentes cultivares de feijão, encontram teores de açúcares redutores variando entre $2,69 \text{ g.100 g}^{-1}$ e $3,68 \text{ g.100 g}^{-1}$.

A redução do teor de açúcares no feijão pode ocorrer devido a vários processos e condições, tanto naturais quanto induzidos. No caso dos grãos processados, a redução do teor de açúcares pode estar ligada ao incremento de temperatura e ao uso de soluções químicas, que favorecem a ocorrência de reações químicas, como a reação de Maillard e a caramelização, que não apenas alteram a cor e o sabor dos alimentos, mas também podem reduzir a quantidade de açúcares redutores disponíveis. Além disso, o uso de soluções químicas pode hidrolisar açúcares complexos e promover reações que consomem açúcares redutores (Araújo, 2012).

Para os resultados de pH, observou-se média geral de $6,42 \pm 1,13$, com variações entre $5,04 \pm 0,35$ (Controle) e $7,97 \pm 0,05$ (T5). Em todos os tratamentos realizados, as condições utilizadas apresentaram diferença estatística significativa, ao nível de 5% de significância, em relação ao controle, resultando em aumento do pH nos grãos após o processamento. Entretanto, os valores obtidos encontram-se próximos da neutralidade.

O pH desempenha um papel crucial na qualidade, segurança, estabilidade e propriedades sensoriais dos alimentos. A medida do pH de um alimento é fundamental para avaliar sua qualidade sob os pontos de vista microbiológico e químico. Durante o processamento de alimentos, podem ocorrer alterações no pH, devido à variação da concentração hidrogeniônica do meio (Fennema, 1996). O pH de diferentes grãos de feijão carioca foi relatado por Silochi et al. (2016a) com valores próximos da neutralidade, variando de 6,63 a 6,72. Valores semelhantes foram observados por Bezerra et al. (2019), em estudo com diferentes variedades de feijão, em que o pH variou entre 5,96 e 6,53.

O aumento do pH após as etapas de processamento pode ser resultado da utilização de diferentes soluções, as quais, devido às suas características específicas, modificam a

concentração hidrogeniônica no meio em que os grãos foram imersos. Devido ao processo de absorção, o pH do produto sofre interferência do meio em que estava imerso. Em estudo com cinco diferentes tipos de processamento de grãos de feijão do tipo carioquinha, Gomes et al. (2006), verificaram que a adição de carbonato de sódio ao processamento dos grãos resultou em um aumento significativo no pH, variando de 6,37 nos grãos sem tratamento para 7,35 nos grãos processados com adição de carbonato de sódio.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos compostos secundários analisados nos grãos processados e no controle, conforme o delineamento experimental proposto. Os taninos apresentaram média geral de $90,36 \pm 20,75 \text{ mg.100 g}^{-1}$, com variações entre $64,73 \pm 8,13 \text{ mg.100 g}^{-1}$ (T5) e $121,23 \pm 5,68 \text{ mg.100 g}^{-1}$ (Controle). Com exceção do tratamento T2, todos os demais tratamentos mostraram redução no teor de taninos, em comparação com o controle, após as etapas de processamento. As maiores reduções foram observadas nos tratamentos T3, T4 e T5, que não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si, ao nível de 5% de significância.

Silva et al. (2009) registraram valores de taninos variando de 2 a 86 mg.100 g^{-1} para diferentes tipos de feijão comum. Valores mais elevados desse parâmetro para feijões do tipo carioca foram relatados por Silochi et al. (2016a), com variações entre 237,51 e $359,21 \text{ mg.100 g}^{-1}$. Segundo os mesmos autores, o teor de taninos foi influenciado pelo tempo de armazenamento dos grãos, com os teores aumentando nos grãos armazenados por um período de 180 dias, variando de 316,30 a $365,95 \text{ mg.100 g}^{-1}$.

Dentre os compostos fenólicos de importância para o estudo de grãos de feijão, os taninos desempenham funções antagônicas. Eles indicam a presença de antioxidantes, mas também possuem propriedades antinutricionais importantes, sendo responsáveis por reduzir a digestibilidade das proteínas, carboidratos e minerais, causar danos às mucosas digestivas e exercer efeitos tóxicos sistêmicos (Golani; Cockell; Sepehr, 2005). Baixos níveis de taninos em feijão são geralmente considerados benéficos para a nutrição humana, devido à melhoria na digestibilidade das proteínas, maior absorção de minerais e melhor aceitação sensorial.

Nos feijões, os taninos são encontrados em maior quantidade no tegumento, sendo responsáveis pela coloração dos grãos (Oomah; Corbé; Balasubramanian, 2010). Esse fato pode ser observado no presente estudo, em que há correlação entre o teor de taninos e a alteração de cor dos grãos processados. Os ensaios que apresentaram os menores teores de taninos após o processamento foram também aqueles que demonstraram as maiores alterações na coloração dos grãos.

Tabela 10 Valores médios de taninos, capacidade antioxidante (DPPH) e fitatos dos grãos de feijão processados por meio de técnicas de branqueamento e hidratação com diferentes tipos de soluções

Tratamentos	Taninos (mg.100 g ⁻¹)	DPPH (μmol trolox.g ⁻¹)	Fitatos (μg. μg ⁻¹)
Controle	121,23 a ± 5,68	4,25 a ± 0,31	0,147 a ± 0,01
T1	98,80 b ± 11,33	3,49 abc ± 0,04	0,103 d ± 0,01
T2	105,70 ab ± 5,81	3,60 ab ± 0,33	0,106 c ± 0,01
T3	71,70 c ± 8,05	2,57 d ± 0,12	0,100 e ± 0,01
T4	73,66 c ± 9,32	3,09 bcd ± 0,35	0,112 b ± 0,01
T5	64,73 c ± 8,13	2,77 cd ± 0,05	0,099 e ± 0,01
T6	96,70 b ± 5,01	3,55 ab ± 0,44	0,148 a ± 0,01

Notas: *Tratamento 01 (T1): branqueamento em água destilada seguido de hidratação em água destilada; Tratamento 02 (T2): branqueamento em solução de ácido ascórbico, seguido por hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 03 (T3): branqueamento em água destilada seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 04 (T4): branqueamento em solução de ácido ascórbico, seguido de hidratação em água destilada. Tratamento 05 (T5): branqueamento em solução de metabissulfito de sódio, seguido de hidratação em solução de carbonato de sódio; Tratamento 06 (T6): branqueamento em solução de metabissulfito de sódio, seguido de hidratação em água destilada.

**Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

***Letras iguais, indicam médias estatisticamente iguais a 5% de significância.

A redução do teor de taninos nos grãos após a etapa de processamento pode ser atribuída aos processos de imersão, já que os taninos são compostos fenólicos solúveis em água. Segundo Araújo (2012), durante o processamento de alimentos, especialmente em processos térmicos, compostos fenólicos, como os taninos, podem ser oxidados, reduzindo sua quantidade e causando reações que alteram a cor dos produtos. Além disso, a utilização de tratamentos químicos, como tratamentos alcalinos, também contribui para a degradação dos compostos fenólicos.

Para a capacidade antioxidante (DPPH) observou-se média geral de 3,33 ± 0,56 μmol trolox.g⁻¹, com variações entre 2,57 ± 0,12 (T3) e 4,25 ± 0,31 μmol trolox.g⁻¹ (Controle). Em todos os tratamentos realizados, exceto nos tratamentos T1, T2 e T6, as condições utilizadas apresentaram diferença estatística significativa, ao nível de 5% de significância, em relação ao controle, resultando em redução da atividade antioxidante após o processamento dos grãos.

Os resultados observados no presente estudo correspondem às faixas registradas por outros autores para grãos de feijão seco. Aquino-Bolaños et al. (2016), avaliando 26 diferentes populações de feijão, registraram valores variando entre 7,1 a 32,4 μmol trolox.g⁻¹. Xu, Yuan e Chang (2007) encontraram valores de atividade antioxidante pelo método DPPH para diferentes variedades de feijão comum variando entre 1,48 a 18,95 μmol trolox.g⁻¹. Silva et al (2009) observaram variações entre 3,05 e 22,57 μmol trolox.g⁻¹.

A redução observada na capacidade antioxidante está relacionada às alterações ocorridas nos compostos que apresentam essa capacidade, como os taninos. Esse fato foi evidenciado no presente estudo pela relação entre a redução dos taninos e a diminuição da capacidade antioxidante. De forma geral, os ensaios que mostraram maior redução dos taninos também apresentaram maior diminuição da capacidade antioxidante. Essas reações de redução estão associadas ao uso de temperaturas mais elevadas e às condições das soluções, que favorecem a degradação dos compostos com capacidade antioxidante, resultando na redução da atividade antioxidante (Araújo, 2012).

O teor de ácido fítico apresentou média geral de $0,11 \pm 0,02 \mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$, com variações entre $0,148 \pm 0,01 \mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$ (T6) e $0,099 \pm 0,01 \mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$ (T5). Observou-se que em todos os tratamentos, exceto no tratamento T6, houve redução significativa em relação ao controle. As maiores reduções foram observadas para as condições de processamento realizadas nos tratamentos T3 e T5, que não diferiram estatisticamente entre si.

Silochi et al. (2016a), em estudo sobre a caracterização de diferentes variedades de feijão carioca, verificaram valores próximo aos registrados no presente estudo, com teor de ácido fítico variando entre 0,10 e 0,14 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$. Resultados semelhantes foram observados por Cassol, Coelho e Fortes (2023), que, em estudo sobre as características nutricionais de variedades de feijão carioca orgânico, encontraram variações entre 0,17 e 0,21 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$.

Presente em diferentes alimentos, como legumes, cereais e oleaginosas, o ácido fítico é considerado uma substância antinutricional devido à sua capacidade de se ligar diretamente ou indiretamente a minerais, proteínas e amido, alterando sua solubilidade, funcionalidade e digestibilidade. Os fitatos são uma classe distinta de compostos, diferentes dos compostos fenólicos em termos de estrutura química e função. Embora ambos possam ter propriedades antioxidantes, pertencem a diferentes categorias de compostos químicos e desempenham papéis diferentes nas plantas e na nutrição humana (Fennema, 1996).

Assim como ocorre com os taninos, o processamento dos grãos reduz o teor de fitatos e, conseqüentemente, pode interferir na capacidade antioxidante dos alimentos. No entanto, a redução do teor de fitatos pode ser interessante do ponto de vista nutricional, pois maiores concentrações desses compostos podem causar indisponibilidade dos minerais, especialmente o zinco. Por outro lado, o ácido fítico apresenta efeitos positivos, como a redução do colesterol plasmático e dos níveis de triacilgliceróis. Além disso, ele tem a capacidade de diminuir o nível de glicose no sangue pela redução da digestão do amido (Araújo, 2012).

4.4 CONCLUSÕES

- O processamento de grãos de feijão, através da técnica de branqueamento por períodos prolongados, superiores a 30 segundos, em soluções contendo carbonato de sódio, metabissulfito de sódio e ácido ascórbico, aumenta o tempo de cozimento e diminui a capacidade de absorção de água dos grãos.
- O processamento por branqueamento realizado por 30 segundos, utilizando soluções de ácido ascórbico ($0,75 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$) ou metabissulfito de sódio ($0,50 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$), apresenta potencial para controlar a alteração de cor e preservar as características tecnológicas dos grãos.
- A hidratação dos grãos por 12 horas, associado ao uso de solução contendo carbonato de sódio ($1,50 \text{ g} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$), reduziu o tempo de cocção dos grãos em 73%, e contribuiu para a redução do nível de dano no produto processado, em contrapartida causou alteração de cor nos grãos após o processamento.
- O processo de branqueamento por 30 segundos em água destilada, seguido de hidratação por 12 horas também em água destilada, mostrou-se eficaz na redução do tempo de cozimento e na preservação da qualidade tecnológica, química e de metabólitos secundários dos grãos, podendo ser considerada como uma alternativa para produção de grãos de feijão de tempo de preparo reduzido.

REFERÊNCIAS

- AQUINO-BOLAÑOS, E. N.; GARCÍA-DÍAZ, Y. D.; CHAVEZ-SERVIA, J. L.; CARILLO-RODRÍGUES, J. C.; VERA-GUZMÁN, A. M.; HEREDIA-GARCÍA, E. Anthocyanin, polyphenol, and flavonoid contents and antioxidant activity in Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 8, p. 581-588, 2016.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. 601 p.
- ASIIMWE, R.; KATUNGI, E.; MARIMO, P.; MUKANKUSI, C.; RUBYOGO, J. C.; ANTHONY, V. Evaluating consumer preferences for reduced cooking time, taste and colour of beans in rural and urban communities in Uganda. **Agriculture & Food Security**, v. 13, n. 19, p. 2-30, 2024.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International**. 16th. ed. Washington, 1995.
- BERNFELD, P. Amylases, α and β . **Methods in Enzymology**, v. 1, p. 149-157, 1955.
- BEZERRA, J. M.; VIEIRA, M. M. S.; SANTOS, A. F.; FARIAS, E. T. R.; LOPES, M. F.; SOUZA, A. S. Composição química de oito cultivares de feijão-caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v.14, n.1, p. 41-47, 2019.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm Wiss Tech**, v. 28, p. 25-30, 1995.
- BRASIL – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399 p.
- BONETT, L. P.; BAUMGARTNER, M.S. T.; KLEIN, A. C.; SILVA, L. I. Compostos nutricionais e fatores antinutricionais do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Arquivos de Ciências da Saúde**, v. 11, n. 3, p. 235-246, 2007.
- BUZERA, A.; KINYANJUI, P.; ISHARA, J.; SILA, D. Physical and cooking properties of two varieties of bio-fortified common beans (*Phaseolus Vulgaris*. L) grown in DR Congo. **Food Science and Quality Management**, v. 71, p. 1-12, 2018.
- CARBONELL, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.
- CASSOL, F. D.; COELHO, S. R. M.; FORTES, A. M. T. Influência do armazenamento sobre as características nutricionais e tecnológicas de feijão carioca orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, n. 12, p. 165-188, 2023.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 49 p.
- COELHO, J. D. Feijão. **Caderno setorial ETENE**, Fortaleza, CE, n. 322, p.1-8, 2023.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Portal de informações Agropecuárias**. Brasília, DF, 2024. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- CORTE, A. D.; MODA-CIRINO, V.; SCHOLZ, M. B. S.; DESTRO, D. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. **Crop Breeding an Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 3, n. 3, p. 193-203, 2003.
- DANSO-BOATENG, E. Effect of drying methods on nutrient quality of Basil (*Ocimum viride*) leaves cultivated in Ghana. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 4, p. 1569-1573, 2013.
- DIDINGER, C.; THOMPSON, H. J. The role of pulses in improving human health: A review. **Legume Science**, v. 4, n. 4, e147, 2022.
- DIDINGER, C.; CICHY, K. URREA, C. A.; SCANLAN, M.; THOMPSON, H. The effects of elevation and soaking conditions on dry bean cooking time. **Legume Science**, v. 5, n. 4, e207, 2023.
- FAVERO, D. M.; RIBEIRO, C. S. G.; AQUINO, A. D. Sulfitos: importância na indústria alimentícia e seus possíveis malefícios à população. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, SP, v. 18, n. 1, p. 11-20, 2011.
- FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. 3rd. ed. EUA: Taylor & Francis Group, 1996. 1067 p.
- FONSECA, H.; ARZOLLA, J. D. P. Ocorrência e dosagem de açúcares em algumas variedades brasileiras de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Anais da E.S.A. Luiz de Queiroz**, São Paulo, SP, v. 27, p. 199-203, 1970.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Codex Alimentarius. International Food Standard. **General standards for food additives**. Codex-Stan 192-1995, Atualizado. 2019.
- GANASCINI, D.; WUNSH, C. A.; SCHOENINGER, V.; SONCELA, R. F.; BISCHOFF, T. Z.; COELHO, S. R. M.; GURGACZ, F. O parâmetro cor e o teor de água de três variedades distintas de feijão tipo carioca. **Acta Iguazu**, Cascavel, PR, v. 3, n. 3, p. 164-167, 2014.
- GEIL, P. B.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: a review. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 13, n. 6, p. 549-558, 1994.
- GOLANI, G. S.; COCKELL, K. C.; SEPEHR, E. Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. **Journal of AOAC International**, Gaithersburg, v. 88, n. 3, p. 967-987, 2005.
- GOMES, J. C.; SILVA, C. O. Elaboração e análises físico-químicas de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 292, p. 687-697, 2003.
- GOMES, J. C.; SILVA, C. O.; COSTA, N. M. B.; PIROZI, M. R. Desenvolvimento e caracterização de farinhas de feijão. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 309, p. 548-558, 2006.
- GOWEN, A; ABU-GHANNAM, N; FRIAS, J; OLIVEIRA, J. The effect of blanching pre-treatment on water intake and texture kinetics. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 78, p. 810-819, 2007.

GRANATTO, D.; MASSON, M. L. Instrumental color and sensory acceptance of soy-based emulsions: a response surface approach. **Ciência e Tecnologia de alimentos**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 1090-1096, 2010.

HORWITZ, H. **Official method of analysis of the association of official agricultural chemists**. Agricultural Chemistry, Washington, 1995. p. 144.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed, 1. ed digital, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGI, D. M.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. Quantifying the effects of postharvest storage and soaking pretreatments on the cooking quality of common Beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e13036, 2016.

KORIYAMA, T.; SATO, Y.; IJIMA, K.; KASAI, M. Influences of soaking temperature and storage conditions on hardening of Soybeans (*Glycine max*) and Red Kidney beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Food Science**, v. 82, n.7, p. 1546-1556, 2017.

LATTA, M.; ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 28, n. 6, p. 1313-1315, 1980.

LONDERO, P. M.; RIBEIRO, N. D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Teores de fibra e rendimento de grãos em populações de feijão. **Ciências Agrárias**, Lavras, MG. v. 32, n. 1, p. 167-173, 2008.

MUNTHALI, J.; NKHATA, S. G.; MASAMBA, K.; MGUNTHA, T.; FUNGO, R.; CHIRWA, R. Soaking beans for 12 h reduces split percent and cooking time regardless of type of water used for cooking. **Heliyon**, v. 8, e10561, 2022.

OOMAH, B. D.; CORBÉ, A.; BALASUBRAMANIAN, P. Antioxidant and anti-inflammatory activities of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, p. 8225-8230, 2010.

PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WEI, L.; HAFF, R. Development of impact acoustic detection and density separations methods for production of high-quality processed beans. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 97, n. 1, p. 292-300, 2010.

PAZ, C. H. O.; COELHO, S. R. M.; SCHOENINGER, V.; CHRIST, D.; GRANELLA, S. J. Processing in different solutions to obtain dried beans with reduced cooking time. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 90, e103491, 2023.

PEDONE, I. S.; NARITA, I. M. P.; SILVEIRA, M. M.; BASSINELLO, P. Z.; VANIER, N. L.; COLUSSI, R. Quick-cooking beans technology: effects of the drying temperature on end-product quality. **Cereal Chemistry**, v. 101, p. 1-13, 2024.

PIRHAYATI, M.; SOLTANIZADEH, N.; KADIVAR, M. Chemical and microstructural evaluation of 'hard-to-cook' phenomenon in legumes (pinto bean and small-type lentil). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 9, p. 1884-1890, 2011.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; HOFFMANN, J. L.; POERSCH, N. L.; CARGNELUTTI, A. F. Dissimilaridade genética para teor de proteína e fibra em grãos de feijão dos grupos preto e de cor. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v. 11, p. 167-173, 2005.

RODRIGUES, J. A.; RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; GARCIA, D. C. Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 35, n.1, p. 209-214, 2005.

RONKO, L. Z.; CHEZINI, A.; BASSO, F. G.; DEMIATE, I. M. Caracterização físico-química de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e das propriedades tecnológicas de sua fração amido. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Francisco Beltrão, PR, v. 15, n. 1, p. 3534-3555, 2021.

SANTOS, G. G; RIBEIRO, N. D.; MAZIERO, S. M. Evaluation of common bean morphological traits identifies grain thickness directly correlated with cooking time. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 46, n. 1, p. 35-42, 2016.

SANTOS, G. N. L. M.; LUZIA, D. M. M.; FARIAS, V. L. S. Composição centesimal e atividade antioxidante de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Interfaces**, São Paulo, SP, v. 15, n. 10, p. 91-112, 2023.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C. Processing parameter optimization for obtaining dry beans with reduced cooking time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 49-57, 2014a.

SCHOENINGER, V.; SILOCHI, R. M. H. Q.; TONINI, M. BATISTA, V. T.; LORIN, H. E. F. Caracterização de atributos tecnológicos e de cor em grãos de feijão produzidos em diferentes sistemas: orgânico e convencional. **Cultivando o Saber**, Cascavel, PR, v. 7, n. 3, p. 1-9, 2014b.

SCHOENINGER, V.; BASSINELO, P. Z.; COELHO, S. R. M.; SILVA, L. B. Industrialização e qualidade de feijões enlatados. **Labgrãos Magazine**, Pelotas, RS, v. 2, n.1, p. 1-3, 2018.

SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; BASSINELLO, P. Z.; PRADO, N. V.; BISCHOFF, T. Z.; SIQUEIRA, V. C. Adaptability of brazilian beans cultivars to industrial canning. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 50, n. 9, e20200048, 2020.

SCHUH, G.; GOTTARDI, R.; FILHO, E. F.; ANTUNES, L. R. G.; DIONELLO, R. G. Efeitos de dois métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha -RS, armazenados por 6 meses. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 32, n. 1, p. 235-244, 2011.

SILOCHI, R. M. H. Q.; COELHO, S. R. M.; BISCHOFF, T. Z.; CASSOL, F. D. R.; PRADO, N. V.; BASSINELLO, P. A. Nutritional technological characterization and secondary metabolites in stored carioca bean cultivars. **African Journal of Agricultural**, v. 14, n. 24, p. 2102-2111, 2016a.

SILOCHI, R. M. H. Q.; COELHO, S. R. M.; BRANCO, E. M. Caracterização tecnológica e proteica de genótipos de feijão comum cultivados na região oeste do Paraná – Brasil. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, PR, v. 18, n. 27, p. 33-55, 2016b.

SILOCHI, R. M. H. Q.; SCHOENINGER, V.; HOSCHER, R. H.; RODRIGUES, N. G. E. Aspectos que influenciam a aquisição e preparo do feijão comum por consumidores domésticos. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, PR, v. 23, n. 37, p. 147-164, 2021.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **Cultivo do feijão**. Estatística da produção. 2023. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-deinformacaotecnologica/cultivos/feijao/preproducao/socioeconomia/estatistica-da-producao#:~:text=Quantidade%20produzida%20de%20feij%C3%A3o%20\(toneladas,produtores%20\(1973%E2%80%932022\).&text=O%20feij%C3%A3o%20%C3%A9%20produzido%20em,%E2%80%9D%20ou%20%E2%80%9Ccirrigada%E2%80%9D\)](https://www.embrapa.br/agencia-deinformacaotecnologica/cultivos/feijao/preproducao/socioeconomia/estatistica-da-producao#:~:text=Quantidade%20produzida%20de%20feij%C3%A3o%20(toneladas,produtores%20(1973%E2%80%932022).&text=O%20feij%C3%A3o%20%C3%A9%20produzido%20em,%E2%80%9D%20ou%20%E2%80%9Ccirrigada%E2%80%9D).). Acesso em: 10 abr. 2024.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Physic-chemical characterization, protein digestibility and antioxidant activity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, SP, v. 20, n. 4, p. 591-598, 2009.

SIQUEIRA, V. C.; JUNQUEIRA, M. H.; QUEQUETO, W. D.; SILVA, F. P.; SCHOENINGER, V.; SOARES, T. Z. B.; MABASSO, G. A. Qualidade nutricional de feijão BRS Estilo submetido à diferentes temperaturas de secagem. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, e1989535252, 2020.

STECKLING, S. M.; RIBEIRO, N. D.; ARNS, F. D.; MEZZOMO, H. C. Genetic diversity and selection of common bean lines based on technological quality and biofortification. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, SP, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.

URGA, K.; FUFA, H.; BIRATU, E.; GEBERETSADIK, M. Effects of blanching and soaking on some physical characteristics of grass pea (*Lathirus Sativus*). **African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development**. Nairobi, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2006.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Foreign agricultural service. Global agricultural information network. **Brazilian dry bean production**. 2019. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Brazilian%20Dry%20Bean%20Production_Brasilia_Brazil_7-12-2019.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

WACU, V.; NAMAEMBA, E.; MAKOKHA, A. N.; NJOROGI, D.; KINYANJUI, P.; SILA, D. Impact of storage conditions on the physical properties and cooking characteristics of two bean varieties grown in Kenya. **Food Science and Quality Management**, v. 40, p. 15-24, 2015.

XIAO, H.-W.; ZHONGLI, P.; DENG, L.-Z.; EL-MASHAD, H. M.; YANG, X.-H. MUJUMDAR, A. S.; GAO, Z.-H.; ZHANG, Q. Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 2, p. 101–127, 2017.

XU, B. J.; YUAN, S. H.; CHANG, S. K. C. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 2, p. 167-177, 2007.

ZAMINDAR, N.; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p. 108-114, 2013.

ZHAO, B.; CHANG, K. C. Evaluation of effects of soaking and precooking conditions on the quality of precooked dehydrated pea, lentil and chickpea products. **Journal of Food Processing and Preservation**, Wyndmoor, v. 32, n. 1, p.517-532, 2008.

5 ARTIGO 2 - PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE FEIJÃO DE COZIMENTO RÁPIDO COM ÁGUA OZONIZADA E SOLUÇÕES QUÍMICAS

RESUMO: A cadeia produtiva do feijão no Brasil enfrenta um declínio no consumo, em parte devido ao longo tempo necessário para cozimento dos grãos. Nesse sentido, há a necessidade de desenvolver alternativas que atendam às demandas dos consumidores por conveniência e qualidade. Este estudo investigou os efeitos do processamento de grãos de feijão submetidos à hidratação com diferentes soluções químicas e ozônio em diferentes temperaturas, com o objetivo de produzir um produto de rápida cocção que mantenha os padrões de qualidade. A imersão dos grãos de feijão em soluções contendo carbonato de sódio, bicarbonato de sódio e ozônio demonstrou ser uma estratégia promissora para reduzir o tempo de cozimento dos grãos, alcançando reduções de 88,1%, 36,2% e 22,5%, respectivamente. A utilização de água ozonizada durante o processo de hidratação dos grãos revelou capacidade para aumentar a absorção de água pelos grãos, registrando aumento de aproximadamente 4,4% em comparação com os grãos não processados, sendo esse aumento observado na condição de imersão a 5 °C. Embora a água ozonizada minimize as alterações de cor no produto após o processamento, a imersão dos grãos em água ozonizada aumenta o nível de dano ao produto em cerca de 4,5%. O uso de solução de 3% de carbonato de sódio e água ozonizada no processo de hidratação dos grãos de feijão resultou em redução do teor de taninos em 77,5% e 55%, respectivamente, e da capacidade antioxidante em 75,5% e 58,9%, respectivamente, sem alterar o teor de fibras, proteínas e lipídios. A hidratação de grãos de feijão em água ozonizada pode representar uma alternativa no processamento dos grãos, pois apresenta potencial para reduzir o tempo de preparo e manter as características de qualidade.

Palavras-chave: oxidação, sais, compostos fenólicos.

5.1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de importância mundial, amplamente cultivada em regiões de clima tropical e subtropical. Seu destaque se deve à sua composição química rica em proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais, tornando-o um alimento altamente benéfico do ponto de vista nutricional e funcional (Sathe, Deshpande, Salunkhe 1984; Zamindar et al., 2013; Silochi et al., 2016).

Nas últimas décadas, a cadeia produtiva do feijão no Brasil tem enfrentado um declínio acentuado no consumo, em parte devido ao longo tempo necessário para o cozimento dos grãos (Conab, 2024). Esse declínio é atribuído às mudanças nos hábitos de vida, como a urbanização e a crescente inserção da população no mercado de trabalho, que diminuem o tempo disponível para tarefas domésticas, incluindo a preparação de alimentos que exigem maior dedicação (Coelho, 2023).

Portanto, há uma necessidade premente de desenvolver alternativas que atendam às demandas dos consumidores por conveniência e qualidade. Para se adaptar a essa realidade, é essencial que todos os envolvidos nessa cadeia busquem alternativas alinhadas às demandas do consumidor contemporâneo. Nesse sentido, as indústrias de processamento têm investido em tecnologias para o desenvolvimento de produtos prontos ou semiprontos, com tempo de preparo reduzido, que possam atender a essas demandas (Schoeninger; Coelho; Bassinello, 2017).

O desenvolvimento de técnicas eficazes de processamento que reduzam o tempo de cozimento dos grãos de feijão é essencial para aumentar sua acessibilidade e promover seu consumo regular. Diversas estratégias têm sido propostas nesse sentido, incluindo o enlatamento e a produção de produtos pré-cozidos, como feijão desidratado, congelado, extrudado, farinhas e concentrados proteicos (Pedrosa et al., 2015; Paz et al., 2023). Embora o processamento industrial de grãos seja uma prática comum em muitos países, no Brasil, o consumo de feijão processado industrialmente ainda é limitado devido à preferência pelo processamento doméstico (Schoeninger et al., 2020).

Com o intuito de reduzir o tempo de cozimento dos grãos de feijão, uma estratégia de processamento com alto potencial para atender à preferência do consumidor brasileiro por grãos secos é a obtenção de um produto processado seco e de rápida cocção. Essa técnica visa simplificar o preparo para os consumidores domésticos e a ideia básica é a de grãos submetidos a processamento, seguido da secagem, resultando num produto seco com aspecto visual semelhante ao grão *in natura* encontrado no mercado (Schoeninger et al., 2014; Paz et al., 2023).

O processamento do feijão seco de cozimento rápido envolve diversas etapas, incluindo o branqueamento, a hidratação e a secagem. A hidratação, realizada tradicionalmente pelos consumidores, permite a absorção gradual de água pelos grãos, facilitando o cozimento e garantindo a maciez do produto (Zhao; Chang, 2008). Para viabilizar metodologias alternativas visando à redução do tempo de cocção, a hidratação dos grãos de feijão pode ser combinada com processos químicos, como a adição de sais. Essa abordagem tem sido investigada como uma estratégia eficaz para reduzir o tempo de preparo dos grãos (Buzera et al., 2018; Kwofie et al., 2019; Didinger et al., 2023).

Além disso, a aplicação de ozônio tem recebido considerável atenção devido às suas propriedades de desinfecção e descontaminação. O ozônio pode ser empregado no processamento de grãos, incluindo o feijão, como medida para garantir a segurança do alimento, eliminando microrganismos e insetos (Silva et al., 2020; Site et al., 2024). Novas áreas de aplicação do ozônio estão sendo exploradas, com foco especial na inativação de enzimas responsáveis por perdas nutricionais e deterioração da qualidade em alimentos crus e processados (Khanashyam; Shanker; Pandiselvam, 2023). No entanto, os efeitos específicos do ozônio na etapa de hidratação de grãos, especialmente no feijão, ainda carecem de documentação.

É relevante ressaltar que, assim como em outras tecnologias, é fundamental considerar os diversos efeitos ao explorar o uso do ozônio. Dependendo da concentração e do tempo de exposição, essa tecnologia pode resultar em alterações nos atributos sensoriais e na composição química dos alimentos (Sujayasree et al., 2022). Assim, são necessárias pesquisas detalhadas para compreender completamente os efeitos do ozônio no processamento de alimentos, visando garantir a segurança e a qualidade dos produtos (Lima; Felix; Cardoso, 2021).

O objetivo deste estudo foi determinar os efeitos do processamento de grãos de feijão submetidos à hidratação com diferentes soluções químicas e ozônio, visando obter um produto de rápida cocção, mantendo os padrões de qualidade.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo, foram utilizados grãos de feijão vermelho (*Phaseolus vulgaris* L.) beneficiados e adquiridos em Viçosa, Minas Gerais, apresentando teor de água inicial de 14,0 g.100 g⁻¹, determinado por método padrão de estufa (Brasil, 2009). Os grãos foram

armazenados em condição de baixa temperatura (5 ± 1 °C) até o momento da realização do experimento, quando foram submetidos aos tratamentos de processamento.

Para o desenvolvimento do estudo, foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial completo (10×2), com dez condições de solução de imersão e duas temperaturas das soluções (5 ± 2 °C e 20 ± 2 °C). O delineamento proposto resultou em um planejamento com 20 tratamentos, com três repetições para cada tratamento. O número de tratamentos foi determinado pela combinação dos fatores tipo de solução e temperatura da solução. A Tabela 1 apresenta a descrição dos tratamentos, conforme as condições das soluções e as temperaturas utilizadas nos 20 tratamentos realizados.

Tabela 1 Descrição dos tratamentos conforme as condições das soluções (g.100 ml⁻¹) e temperatura (°C) das soluções utilizadas no processamento dos grãos de feijão

Tratamentos	Tipo de solução (g.100 ml ⁻¹)	T (°C)
01	Água ozonizada	5
02	Solução de 1,5% de carbonato de sódio	5
03	Solução de 3% de carbonato de sódio	5
04	Solução de 4% de bicarbonato de sódio	5
05	Solução de 6% de bicarbonato de sódio	5
06	Solução de 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	5
07	Solução de 3% de carbonato de sódio em água ozonizada	5
08	Solução de 4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	5
09	Solução de 6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	5
10	Água destilada	5
11	Água ozonizada	20
12	Solução de 1,5% de carbonato de sódio	20
13	Solução de 3% de carbonato de sódio	20
14	Solução de 4% de bicarbonato de sódio	20
15	Solução de 6% de bicarbonato de sódio	20
16	Solução de 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	20
17	Solução de 3% de carbonato de sódio em água ozonizada	20
18	Solução de 4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	20
19	Solução de 6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	20
20	Água destilada	20

Para cada tratamento, foram utilizadas amostras de 100 g de feijão, imersas em béqueres de 600 ml contendo 400 ml das respectivas soluções diluídas em água destilada (pH 7,3) e mantidas em repouso por 12 horas em banho termostatizado (TECNAL – TE 2005) para o controle da temperatura, conforme determinado no planejamento (Tabela 1). Os grãos foram adicionados à solução de hidratação somente quando a temperatura da solução atingiu o valor determinado, medida com auxílio de um termômetro de mercúrio.

Para os tratamentos em água ozonizada, as respectivas soluções foram colocadas em um protótipo de PVC, com dimensões de 7,6 cm de diâmetro e 17,5 cm de altura, com entrada de ozônio na parte inferior, onde foi acoplada uma pedra porosa, e saída na parte superior

para o extravasamento do ozônio residual. O ozônio foi gerado por descarga corona (Garamoon; Elakshar; Elsawah, 2009), a partir do oxigênio proveniente de um concentrador de oxigênio modelo EverFlo (*Philips Respironics*, Murrysville, Pennsylvania, EUA). A vazão utilizada foi de 1 L min⁻¹, mensurada pelo medidor de modelo MF5700 (*Stargo Ltd*, Chengdu, Sichuan, China). Aplicou-se uma concentração de ozônio de 12,3 mg L⁻¹. O monitoramento da concentração de ozônio foi feito pelo método iodométrico (Rakness et al., 1996). A solução foi ozonizada de forma constante durante todo o período de hidratação (12 horas).

Após a realização dos tratamentos, os grãos foram submetidos à secagem em estufa com circulação de ar até alcançarem o teor de umidade inicial (14 g.100 g⁻¹). A temperatura de secagem empregada foi de 50 ± 2 °C. Em seguida, os grãos foram submetidos a análises de qualidade tecnológica, conforme descrito a seguir.

A determinação do tempo de cozimento foi realizada com o auxílio do aparelho cozedor de Mattson modificado, seguindo o método proposto por Proctor e Watts (1987). Para a análise da absorção de água antes do cozimento, utilizou-se a metodologia proposta por Carbonell, Carvalho e Pereira (2003). Amostras contendo, aproximadamente, 30 g de feijão foram embebidas em 100 ml de água destilada e mantidas em repouso por um período de 16 horas em temperatura ambiente. Após esse período, os grãos foram drenados e pesados novamente. A capacidade de absorção de água foi calculada com base na massa obtida antes e depois do processo, expressa em porcentagem.

A porcentagem de grãos danificados foi avaliada pela metodologia proposta por Pan et al. (2010). A massa total de grãos foi separada em duas porções, danificadas e intactas. Para a classificação dos grãos danificados foram consideradas a presença de fissuras no tegumento, a descamação do tegumento e a presença de grãos quebrados. Os grãos danificados foram pesados e expressos como massa de grãos danificados por 100 g de amostra. A cor do produto foi determinada utilizando-se um colorímetro (Konica Minolta, CR410, Osaka, Japão) com abertura de 50 mm. Primeiramente, foram avaliados os parâmetros L, a* e b* dos grãos sem tratamento, considerados controle e, em seguida, as amostras processadas foram medidas para obter valores médios da diferença de cor do grão processado em comparação ao controle (ΔE^*). Calculados conforme a Equação 1:

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

Após a realização das análises de qualidade tecnológica, os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística através do *software* computacional RStudio versão 4.3.0. Primeiramente, os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e em relação à homocedasticidade pelo teste de Bartlett, a um nível de significância de 5%. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, também a um nível de significância de 5%. Com base nos

resultados observados na etapa de avaliação tecnológica, foram selecionados três tratamentos que apresentaram resultados promissores em relação à redução do tempo de cozimento e manutenção da qualidade tecnológica. Foi realizado um novo delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos, incluindo o controle. Os grãos considerados controle, ou seja, aqueles que não receberam os tratamentos de processamento, foram adicionados como um tratamento para a avaliação da qualidade dos grãos processados em relação ao controle. Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições.

Os teores de proteínas foram determinados pelo método microKjeldahl, conforme descrito por AOAC (1995), empregando 6,25 como fator de conversão de nitrogênio em proteína. Utilizou-se 0,2 g de amostra seca. Os resultados foram expressos em massa seca (MS). Para a avaliação do teor de lipídios, utilizou-se o método de Goldfish modificado em equipamento Extrator de Gorduras Tecnal TE-044. Foram utilizados 5g de farinha e éter de petróleo P.A. como solvente, extraídos por 3 horas a 90 °C. O teor de lipídios foi expresso em porcentagem em base seca.

O teor de fibra bruta, seguiu os preceitos da AOAC (1995). A análise foi realizada utilizando um equipamento Determinador de Fibra TE – 149, marca TECNAL. O ácido sulfúrico (0,255 N) foi utilizado como solução ácida e o hidróxido de sódio (0,313 N) foi utilizado como solução básica, à temperatura próxima de 98 °C (± 1). As amostras foram digeridas por 30 minutos em cada solução. Após o processo de extração, as amostras foram levadas à mufla por 2 horas a 500 °C. A diferença de peso antes e após a queima forneceu o peso da fibra bruta das amostras.

A análise de açúcares redutores foi realizada conforme metodologia adaptada de Bernfeld (1955). Preparou-se o extrato utilizando 0,3 g de farinha e uma solução extratora composta por metanol, clorofórmio e água (12:5:3). Para a análise, utilizou-se 1 ml de extrato e 1 ml do reagente ácido 3,5-dinitrossalicílico (DNS), misturados em tubo Falcon e aquecidos em banho maria a 100 °C por 5 min. As leituras foram realizadas a 540 nm utilizando um espectrofotômetro. A curva padrão foi obtida com soluções de glicose e os resultados foram expressos em gramas de glicose por 100 g de feijão.

A determinação do conteúdo de taninos nos grãos foi realizada pelo método espectrofotométrico Folin – Denis (Horwitz, 1995), com adaptações. O extrato foi preparado utilizando-se 0,3 g de farinha e uma solução extratora composta por metanol:água (2:1). Foi adicionado 1 ml do extrato em um tubo de ensaio, seguido por 100 μ L do reagente Folin-Ciocalteu e 300 μ L de solução saturada de Na_2CO_3 (20%). Os tubos foram então colocados em banho-maria a 40 °C por 30 minutos e, após isso, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 765 nm. O padrão da curva foi obtido com ácido tânico (50 ppm – mg. L^{-1}). Os resultados foram expressos em mg de fenóis (ácido tânico) por 100 g de matéria.

Conforme metodologia proposta por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), foi determinado o potencial antioxidante, pelo método fotométrico de sequestro de radicais livres (DPPH – 2,2 difenil-1-picrilhidrazil). Foi utilizado o extrato de amostra preparado durante a determinação de taninos. Para o cálculo e a expressão dos resultados em micrograma de equivalente Trolox por grama de matéria ($\mu\text{mol TEAC} \cdot \text{g}^{-1}$), foi utilizada uma curva padrão de Trolox (6 – hidroxi - 2,5,7,8 –tetrametilcromano - 2 - ácido carboxílico).

O conteúdo de ácido fítico foi determinado segundo metodologia proposta por Latta e Eskin (1980). O extrator empregado foi uma solução de ácido clorídrico (2,4%). O extrato foi eluído em uma coluna com DOWEX® e acrescido de 3,3 ml de solução de Wade. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 500 nm. Para a construção da curva padrão, foram utilizados 0,010 g de ácido fítico, adicionados a 100 ml de água destilada. Os resultados foram expressos conforme a concentração de ácido fítico presente nas amostras (μg de fitatos por μg de matéria).

Os resultados obtidos após a realização das avaliações químicas e de compostos secundários, assim como os resultados obtidos para a avaliação tecnológica, foram submetidos à análise estatística, utilizando-se o *software* computacional RStudio versão 4.3.0. Primeiramente, os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e em relação à homocedasticidade pelo teste de Bartlett, a um nível de significância de 5%. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os grãos não processados, considerados controle, apresentaram tempo médio de cozimento de $51,87 \pm 1,55$ minutos, capacidade de absorção de água antes do cozimento de $90,86 \pm 1,49\%$ e luminosidade (L^*) média de $38,4 \pm 5,6$. Os valores médios para o tempo de cozimento dos grãos processados são apresentados na Tabela 2.

Observou-se que, para a variável resposta tempo de cozimento, houve interação significativa entre os fatores tipos de solução e temperatura das soluções. Com exceção da condição que utilizou somente água destilada, todas as demais condições reduziram o tempo de cozimento dos grãos. O uso das soluções de 3% de carbonato de sódio, 3% de carbonato de sódio em água ozonizada e 6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada foram as únicas que apresentaram diferença estatística em relação ao fator temperatura, registrando maior redução no tempo de cocção, quando a temperatura aumentou de 5 °C para 20 °C. O

menor tempo de cocção foi observado com a solução de 3% de carbonato de sódio a 20 °C, enquanto o maior tempo de cocção foi verificado quando os grãos foram hidratados apenas em água destilada, não apresentando diferença estatística significativa entre as temperaturas, ao nível de 5% de significância. Em relação ao uso das diferentes soluções, observou-se que, em ambas as temperaturas avaliadas, as soluções de 3% de carbonato de sódio e de 3% de carbonato de sódio em água ozonizada resultaram na maior redução do tempo de cozimento dos grãos, sem diferenças estatísticas significativas entre si.

Os resultados indicam que o uso de ozônio na água de hidratação dos grãos apresenta potencial para reduzir o tempo de cocção, como evidenciado pela condição em que os grãos foram imersos apenas em água ozonizada, resultando em redução do tempo de cozimento em, aproximadamente, 10 minutos. Resultados semelhantes foram obtidos com as soluções contendo 1,5% de carbonato de sódio e 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada, que também não apresentaram variações estatisticamente significativas entre si, ao nível de significância adotado.

Tabela 2 Valores médios de tempo de cozimento (minutos) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas

Tipo de solução (g.100 ml ⁻¹)	Temperatura da solução °C	
	5	20
Água ozonizada	40,23 Ab ± 0,70	41,68 Ab ± 2,86
1,5% de carbonato de sódio	41,05 Ab ± 0,95	40,58 Ab ± 2,08
3% de carbonato de sódio	13,83 Ad ± 1,13	6,21 Bd ± 0,71
4% de bicarbonato de sódio	33,13 Ac ± 1,90	33,63 Ac ± 1,29
6% de bicarbonato de sódio	33,23 Ac ± 1,02	33,83 Ac ± 1,05
1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	40,75 Ab ± 1,90	41,95 Ab ± 2,44
3% de carbonato de sódio em água ozonizada	15,16 Ad ± 3,09	8,75 Bd ± 0,93
4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	35,38 Ac ± 1,85	33,65 Ac ± 2,57
6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	39,66 Ab ± 2,18	33,38 Bc ± 2,51
Água destilada	51,3 Aa ± 0,98	50,5 Aa ± 3,07

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis da temperatura das soluções (5 °C ou 20 °C). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

De modo geral, o uso da temperatura mais baixa (5 °C) no processo de hidratação dos grãos, nas condições do presente estudo, não apresentou efeitos significativos que justifiquem seu uso para a redução do tempo de cocção. Nesse sentido, a temperatura de 20 °C é mais indicada, pois, além de não exigir um resfriamento, proporcionou a maior redução observada para o tempo de cocção dos grãos processados (solução de 3% de carbonato de sódio e solução de 3% de carbonato de sódio em água ozonizada).

Coelho et al. (2008), ao estudarem a capacidade de cocção de grãos de feijão em função da temperatura da água de hidratação, verificaram que a hidratação dos grãos em

temperaturas próximas a 25 °C resultou em maior redução do tempo de cocção em comparação com a hidratação a temperaturas mais baixas, como 5 °C. A redução do tempo de cozimento em soluções com temperaturas mais elevadas pode estar associada aos compostos presentes nos grãos que contribuem para sua resistência (dureza), como os fitatos e taninos, que são diretamente afetados pelas condições de imersão dos grãos, tendo sua solubilidade influenciada pelo fator temperatura (Fennema, 1996).

Resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo, em relação à redução do tempo de cocção quando se utilizam soluções químicas, foram reportados por outros autores. Bhokre e Joshi (2015) observaram que a imersão de diferentes variedades de feijão em soluções contendo cloreto de sódio (NaCl) e bicarbonato de sódio (NaHCO₃) foi capaz de reduzir o tempo de cocção dos grãos em até 86%. Kwofie et al. (2019) registraram redução significativa de 115 minutos no tempo de cocção de grãos de feijão com a adição de cloreto de potássio (K₂CO₃) no processo de hidratação dos grãos. Didinger et al. (2023) verificaram que a imersão de grãos de feijão em soluções contendo cloreto de sódio e bicarbonato de sódio (NaHCO₃) reduziu o tempo de preparo dos grãos em cerca de 56% e 77%, respectivamente. Além disso, Njoroge et al. (2016) observaram que a imersão de grãos de feijão em solução de carbonato de sódio (Na₂CO₃) tem capacidade de reduzir o tempo de cozimento dos grãos.

Didinger et al. (2023) destacam que a hidratação dos grãos de feijão em soluções que podem reduzir o tempo de cozimento é uma abordagem prática que pode ser utilizada até mesmo por consumidores domésticos, visto que muitas dessas soluções, como sal de cozinha (NaCl) e bicarbonato de sódio (NaHCO₃), são produtos domésticos comuns. A importância da redução do tempo de cozimento dos grãos de feijão é amplamente reconhecida na literatura. É considerado um dos fatores mais importantes na determinação da aquisição e consumo dos grãos (Ribeiro et al., 2019; Kläsener et al., 2020; Silochi et al., 2021). Asimwe et al. (2024), em pesquisa sobre as preferências dos consumidores quanto à redução do tempo de cozimento de grãos de feijão, registraram que a maioria dos entrevistados estavam dispostos a pagar valores acima do preço de mercado caso fosse possível reduzir o tempo de preparo dos grãos.

Segundo Njoroge et al. (2016), a redução do tempo de cocção dos grãos quando hidratados em diferentes soluções pode estar relacionada aos tipos de cátions presentes na solução de imersão. Segundo os autores, a imersão em solutos bivalentes, como aqueles contendo íons de Ca⁺⁺, pode aumentar o tempo de cozimento, enquanto a imersão em solutos monovalentes, como Na⁺, pode resultar em amolecimento mais rápido dos grãos. Esse fenômeno pode ser explicado pela ligação cruzada entre íons de cálcio e pectina, que podem formar pectatos insolúveis, resultando em resistência à absorção de água e consequentemente maior tempo necessário para o cozimento.

A Tabela 3 apresenta as médias de capacidade de absorção de água dos grãos de feijão processados. Para a variável resposta capacidade de absorção de água, observou-se interação significativa entre os fatores tipos de solução e temperatura das soluções. A utilização de água ozonizada, em ambas as temperaturas, apresentou as maiores médias. A utilização de água ozonizada à temperatura de 5 °C aumentou significativamente a capacidade de absorção de água dos grãos, sendo a maior média observada, com valor superior à capacidade de absorção de água dos grãos considerados controle (90,86 %). Por outro lado, a utilização da água ozonizada em conjunto com soluções contendo carbonato de sódio (1,5% e 3%) e bicarbonato de sódio (4% e 6%) resultou em redução da capacidade de absorção de água dos grãos. Essa redução foi mais acentuada quando as soluções foram utilizadas à temperatura de 5 °C.

O aumento da capacidade de absorção de água dos grãos quando hidratados em água ozonizada pode estar relacionado à sua capacidade oxidante, que pode promover modificações estruturais nas matrizes de amido (Pandiselvam et al., 2019). Segundo Lima et al. (2020), a imersão de determinados produtos em água ozonizada, pode ocasionar uma reação complexa com a matriz do amido, resultante da oxidação de grupos hidroxila e geração de oxidantes secundários, como radicais hidroxila. Esses radicais aumentam as possibilidades de modificações do amido. Os autores observaram um ligeiro aumento na capacidade de absorção de água em amostras de amidos de mandioca processados com água ozonizada. Além disso o maior efeito registrado para a temperatura mais baixa (5 °C), pode ser resultado da maior efetividade do ozônio, que apresenta menor degradação em temperaturas mais baixas em meio aquoso (Premjit et al., 2022).

Tabela 3 Valores médios de capacidade de absorção de água (%) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas

Tipo de solução (g.100 ml ⁻¹)	Temperatura da solução °C	
	5	20
Água ozonizada	103,02 Aa ± 0,95	95,23 Ba ± 1,98
1,5% de carbonato de sódio	89,55 Acd ± 1,79	91,15 Ab ± 1,08
3% de carbonato de sódio	87,01 Ad ± 1,28	86,51 Ac ± 1,96
4% de bicarbonato de sódio	86,21 Ade ± 1,02	81,14 Be ± 1,57
6% de bicarbonato de sódio	91,45 Abc ± 3,01	81,76 Bde ± 1,81
1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	77,13 Bg ± 1,14	85,37 Acd ± 3,85
3% de carbonato de sódio em água ozonizada	83,35 Bef ± 1,66	87,07 Ac ± 1,57
4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	77,94 Bg ± 2,75	85,76 Ac ± 2,35
6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	80,32 Bfg ± 1,59	85,63 Ac ± 1,27
Água destilada	94,39 Ab ± 1,99	93,58 Aab ± 1,51

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis da temperatura das soluções (5 °C ou 20 °C). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

Por outro lado, a água ozonizada, quando combinada com soluções químicas, pode não ter aumentado a capacidade de absorção de água pelos grãos devido às reações ocorridas entre o ozônio e as soluções. Aslam, Alam e Pandiselvam (2022) destacam que a efetividade do ozônio em meio aquoso é influenciada por diversos fatores, como temperatura, concentração e pH da reação. Nesse contexto, as condições de pH das soluções podem ter interferido diretamente no efeito do ozônio, diminuindo sua capacidade de atuação devido à alteração da condição do meio. Conforme Premjit et al. (2022), o pH do processo é um dos parâmetros mais críticos a ser explorado, pois está fortemente associado ao grau de dissociação do ozônio. Esse fenômeno está relacionado à concentração de íons de hidróxido, que influencia grandemente a reação de ozonização, atuando como iniciadores, promotores e inibidores de reações radicais em cadeias. Eles também afetam o equilíbrio ácido-base, alterando as concentrações das formas dissociadas e não dissociadas.

Conforme Kinyanjui et al. (2015), a temperatura da água de imersão e o uso de soluções químicas no processo de hidratação dos grãos podem influenciar significativamente a capacidade de absorção de água. Em estudo com variedades de feijão, os autores observaram que tanto a temperatura quanto o tipo de solução química empregada exercem influência significativa na absorção de água pelos grãos.

Paz et al. (2023) observaram que a imersão de grãos de feijão em soluções contendo carbonato de sódio e bicarbonato de sódio reduzem a capacidade de absorção de água. Resultados semelhantes foram relatados por Didinger et al. (2023), que também verificaram redução da capacidade de absorção de água quando utilizaram solução contendo bicarbonato de sódio. Esses achados são corroborados pelo presente estudo, pois a imersão dos grãos em água contendo essas diferentes soluções resultou em redução da capacidade de absorção de água dos grãos, quando comparado aos grãos controle.

A Tabela 4 apresenta os valores médios para a porcentagem de grãos danificados após o processamento. Observou-se interação significativa entre os fatores tipos de solução e temperatura das soluções. Houve aumento no nível de dano do produto ao elevar a temperatura da solução de 5 °C para 20 °C, nas condições que utilizaram imersão dos grãos em solução de 3% de carbonato de sódio, 4% de bicarbonato de sódio, 6% de bicarbonato de sódio e água destilada. Para as demais soluções, com exceção de 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada, não ocorreram diferenças estatisticamente significativas entre as temperaturas avaliadas.

Para a temperatura de 5 °C, a maior porcentagem de danos foi observada na condição de imersão dos grãos em água ozonizada, que não diferiu estatisticamente da imersão em 4% e 6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada. Para a temperatura de 20 °C, o maior nível de danos nos grãos processados foi observado na condição de imersão em água

ozonizada, que não diferiu estatisticamente da imersão em 4 e 6% de bicarbonato de sódio, 4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada e da imersão em água destilada.

Tabela 4 Valores médios de porcentagem de danos (%) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas

Tipo de solução (g.100 ml ⁻¹)	Temperatura da solução °C	
	5	20
Água ozonizada	4,05 Aa ± 0,21	4,5 Aa ± 0,28
1,5% de carbonato de sódio	2,4 Abcde ± 0,42	1,9 Acd ± 0,28
3% de carbonato de sódio	1,45 Be ± 0,21	2,2 Abcd ± 0,14
4% de bicarbonato de sódio	1,85 Bde ± 0,35	2,9 Aabc ± 0,14
6% de bicarbonato de sódio	1,95 Bcde ± 0,35	3,4 Aab ± 0,42
1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	2,45 Abcd ± 0,49	1,7 Bd ± 0,28
3% de carbonato de sódio em água ozonizada	1,75 Ade ± 0,49	2,15 Abcd ± 0,07
4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	3,8 Aab ± 0,42	3,05 Aabc ± 0,49
6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	3,2 Aabc ± 0,28	2,45 Abcd ± 0,21
Água destilada	2,55 Bbcd ± 0,35	4,2 Aa ± 0,28

Nota: *Os resultados são as médias de três repetições ± desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis da temperatura das soluções (5 °C ou 20 °C). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

O aumento do nível de dano no produto, quando se utilizam soluções químicas, pode estar ligado ao modelo pectina-cátion-fitato. Soluções que contêm íons monovalente, como o Na⁺ utilizado neste estudo, podem aumentar a solubilidade das proteínas e/ou promover a troca iônica, substituindo alguns dos cátions divalentes, como o cálcio. Isso pode enfraquecer as ligações cruzadas e diminuir a resistência dos grãos (Pirhayati; Soltanizadeh; Kadivar, 2011). No caso do uso do ozônio nas soluções, o aumento do nível de dano pode estar interligado ao mesmo modelo (pectina-cátion-fitato), uma vez que o ozônio, devido à sua capacidade oxidante, pode interagir diretamente com enzimas e compostos, causando alterações nos componentes estruturais dos grãos (Khanashyam; Shanker; Pandiselvam, 2023).

Além disso, o aumento do nível de danos em grãos de feijão processado pode estar relacionado à qualidade da matéria-prima utilizada (Pan et al., 2010) e à etapa de secagem, visto que a secagem é essencial para mitigar a quantidade de água absorvida pelo grão ao longo do processo. Isso influencia não apenas a umidade final do feijão processado, mas também a ocorrência de defeitos no produto (Pedone et al., 2024).

A Tabela 5 apresenta os valores médios de luminosidade (L*) dos grãos de feijão processados. Para o parâmetro luminosidade, houve interação significativa entre os fatores tipos de solução e temperatura das soluções. A imersão dos grãos em solução de 4% de bicarbonato de sódio e em solução de 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada foram as únicas condições que demonstraram diferenças estatísticas, em relação ao fator

temperatura. Para a solução de 4% de bicarbonato de sódio, registrou-se menor luminosidade dos grãos à temperatura mais baixa (5 °C). Em contraste, a solução de 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada registrou maior redução na luminosidade à temperatura de 20 °C. Em relação aos tipos de solução, as maiores médias de luminosidade foram observadas quando os grãos foram imersos em água ozonizada e água destilada, sem diferenças estatisticamente significativas entre si. Destaca-se que, em todas as condições avaliadas, houve redução na luminosidade dos grãos em comparação aos grãos não processados (controle), que apresentaram valor médio de luminosidade de $38,4 \pm 5,6$. Esses resultados indicam que o processamento dos grãos, conforme os tratamentos propostos, resulta em redução da luminosidade.

Tabela 5 Valores médios de luminosidade (L^*) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas

Tipo de solução (g.100 ml ⁻¹)	Temperatura da solução °C	
	5	20
Água ozonizada	34,3 Aab $\pm$ 1,26	33,8 Aab $\pm$ 1,67
1,5% de carbonato de sódio	31,2 Acd $\pm$ 0,63	31,6 Abc $\pm$ 0,74
3% de carbonato de sódio	31,7 Abcd $\pm$ 1,46	32,1 Abc $\pm$ 0,60
4% de bicarbonato de sódio	30,9 Bcd $\pm$ 0,69	32,7 Abc $\pm$ 1,42
6% de bicarbonato de sódio	31,8 Abcd $\pm$ 1,42	32,9 Abc $\pm$ 0,61
1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	33,6 Aabc $\pm$ 1,68	30,7 Bc $\pm$ 0,45
3% de carbonato de sódio em água ozonizada	31,5 Abcd $\pm$ 1,63	31,6 Abc $\pm$ 0,52
4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	30,7 Ad $\pm$ 0,53	31,4 Abc $\pm$ 0,65
6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	31,6 Abcd $\pm$ 0,98	31,1 Abc $\pm$ 1,01
Água destilada	36,4 Aa $\pm$ 1,77	36,2 Aa $\pm$ 1,19

A Tabela 6 apresenta os valores médios da diferença de cor dos grãos processados em relação ao controle. Os fatores tipos de solução e temperatura das soluções apresentaram interação significativa. A imersão dos grãos em solução de água ozonizada, em solução de 1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada e em solução de 6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada resultou em menor alteração de cor do produto após o processamento à temperatura de 5°C, em relação à temperatura de 20 °C. Exceto para a solução de 6% de bicarbonato de sódio, que apresentou redução na alteração de cor quando os grãos foram imersos na solução à temperatura de 20 °C. As demais soluções não apresentaram diferenças significativas em relação à temperatura utilizada.

Em relação ao tipo de solução, a menor alteração de cor foi observada para a imersão apenas em água, em ambas as temperaturas, sem diferença estatisticamente significativa da imersão em água ozonizada à temperatura de 5 °C. Por outro lado, a maior alteração de cor foi observada nas soluções contendo carbonato de sódio e bicarbonato de sódio, tanto nas diferentes concentrações quanto em combinação com a água ozonizada. Esses resultados

sugerem que o uso dos solutos químicos contribuiu para a alteração de cor do produto após o processamento.

Tabela 6 Valores médios de diferença de cor (ΔE^*) dos grãos de feijão processados por hidratação em diferentes soluções e temperaturas

Tipo de solução (g.100 ml ⁻¹)	Temperatura da solução °C	
	5	20
Água ozonizada	5,46 Bd $\pm$ 2,25	8,8 Ac $\pm$ 1,12
1,5% de carbonato de sódio	10,63 Aabc $\pm$ 0,65	11,36 Aab $\pm$ 0,93
3% de carbonato de sódio	11,63 Aab $\pm$ 1,23	11,33 Aab $\pm$ 0,56
4% de bicarbonato de sódio	12,25 Aa $\pm$ 0,79	11,66 Aab $\pm$ 1,81
6% de bicarbonato de sódio	11,31 Aabc $\pm$ 1,56	9,78 Bbc $\pm$ 0,72
1,5% de carbonato de sódio em água ozonizada	9,41Bc $\pm$ 1,19	12,23 Aa $\pm$ 0,55
3% de carbonato de sódio em água ozonizada	12,31 Aa $\pm$ 1,20	12,06 Aa $\pm$ 0,80
4% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	11,85 Aab $\pm$ 0,72	12,16 Aa $\pm$ 0,83
6% de bicarbonato de sódio em água ozonizada	10,03 Bbc $\pm$ 1,42	12,66 Aa $\pm$ 0,92
Água destilada	3,68 Ad $\pm$ 0,76	4,08 Ad $\pm$ 0,33

Notas: *Os resultados são as médias de três repetições $\pm$ desvio padrão.

**Letras maiúsculas iguais, indicam médias iguais nas linhas para os níveis da temperatura das soluções (5 °C ou 20 °C). Letras minúsculas iguais, indicam médias iguais na coluna para os níveis de tipo de solução.

Os resultados registrados no presente estudo, em relação à alteração de cor dos grãos processados após a imersão em soluções químicas corroboram as observações de outros autores. Kinyanjui et al. (2016) verificaram que a adição de carbonato de sódio ao processo de hidratação de grãos de feijão resultou em alteração de cor dos grãos após o período de imersão. Resultados semelhantes foram observados por Buzera et al. (2018), que, ao utilizarem carbonato de sódio para processar grãos de feijão biofortificados, constataram que a imersão dos grãos na solução gerou alteração nos parâmetros de cor, indicando escurecimento dos grãos. No estudo de Schoeninger et al. (2014), os autores verificaram que a adição de bicarbonato de sódio (2,25% e 4%), em concentrações próximas às utilizadas no presente trabalho, resultou em alteração de cor no produto processado.

A alteração de coloração no tegumento dos grãos pode ser explicada por vários mecanismos envolvidos durante a imersão do feijão nas diferentes soluções. Entre eles, a interação iônica, na qual o Na⁺ tende a migrar para o feijão, enquanto o Mg²⁺ e o K⁺ tendem a deixar o feijão (De Leon; Elías; Bressani, 1992). Além disso, os efeitos das soluções sobre a diferença de cor dos grãos podem estar relacionados à alteração do pH, que pode favorecer a ocorrência de reações de escurecimento enzimático e não enzimático (Araújo, 2012).

No caso da imersão dos grãos em água ozonizada, o efeito do ozônio na manutenção de cor dos grãos, pode estar interligado com sua propriedade oxidante, que possui a capacidade de interagir com enzimas, afetando a atividade dessas enzimas. Um exemplo é a

polifenol oxidase, que é uma enzima importante no processo de coloração dos produtos de origem vegetal (Khanashyam; Shanker; Pandiselvam, 2023).

A Figura 1 demonstra o aspecto visual dos grãos considerados controle e dos grãos de feijão processados após os 20 tratamentos propostos no planejamento.

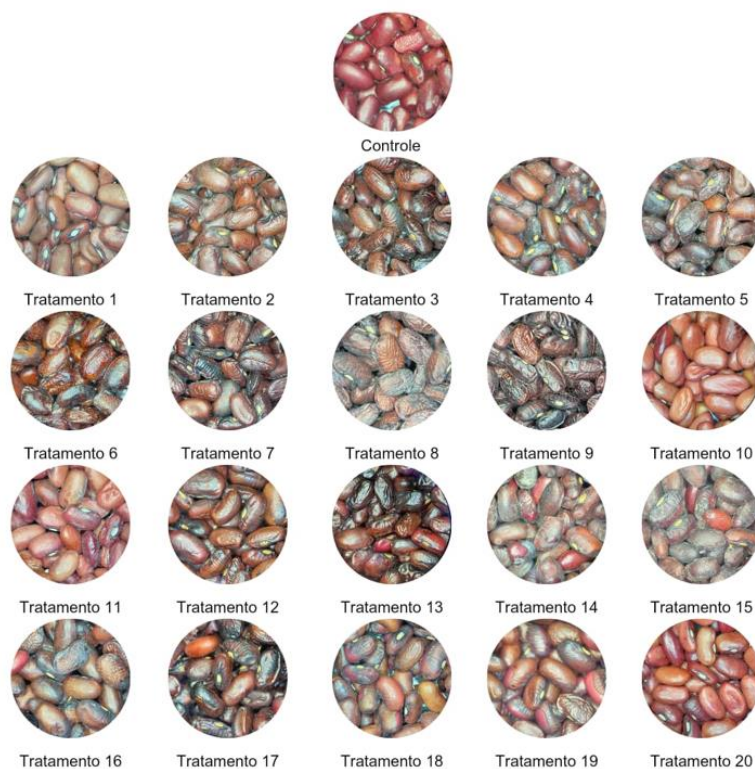


Figura 1 Aspecto visual do feijão controle e processado após a realização dos tratamentos.

Com base nos resultados observados na etapa de avaliação tecnológica, foram selecionados três tratamentos para a avaliação da qualidade química e dos compostos secundários. Optou-se por trabalhar com a temperatura da solução de 20 °C, considerando que, para o objetivo principal de reduzir o tempo de cocção, não foram obtidos resultados satisfatórios com o uso da temperatura de 5 °C que justificassem seu uso. Os tratamentos selecionados foram: imersão somente em água destilada (Tratamento 20), que, apesar de não apresentar redução significativa no tempo de cocção dos grãos, serve como base para indicar os efeitos de hidratação em grãos de feijão sem adição de solutos; imersão em água ozonizada (Tratamento 11), que apresentou significativa redução do tempo de cocção dos grãos e contribuiu para redução da alteração de cor do produto processado; e a imersão em solução de 3% de carbonato de sódio (Tratamento 13), por ser o tratamento que apresentou maior redução no tempo de cozimento dos grãos. Adicionalmente, os grãos considerados controle, ou seja, aqueles que não receberam os tratamentos de processamento, foram

incluídos como um tratamento para a avaliação da qualidade dos grãos processados em relação ao controle.

A Figura 2 apresenta os valores médios obtidos para os teores de proteínas, fibras, lipídios e açúcares redutores, em diferentes soluções.

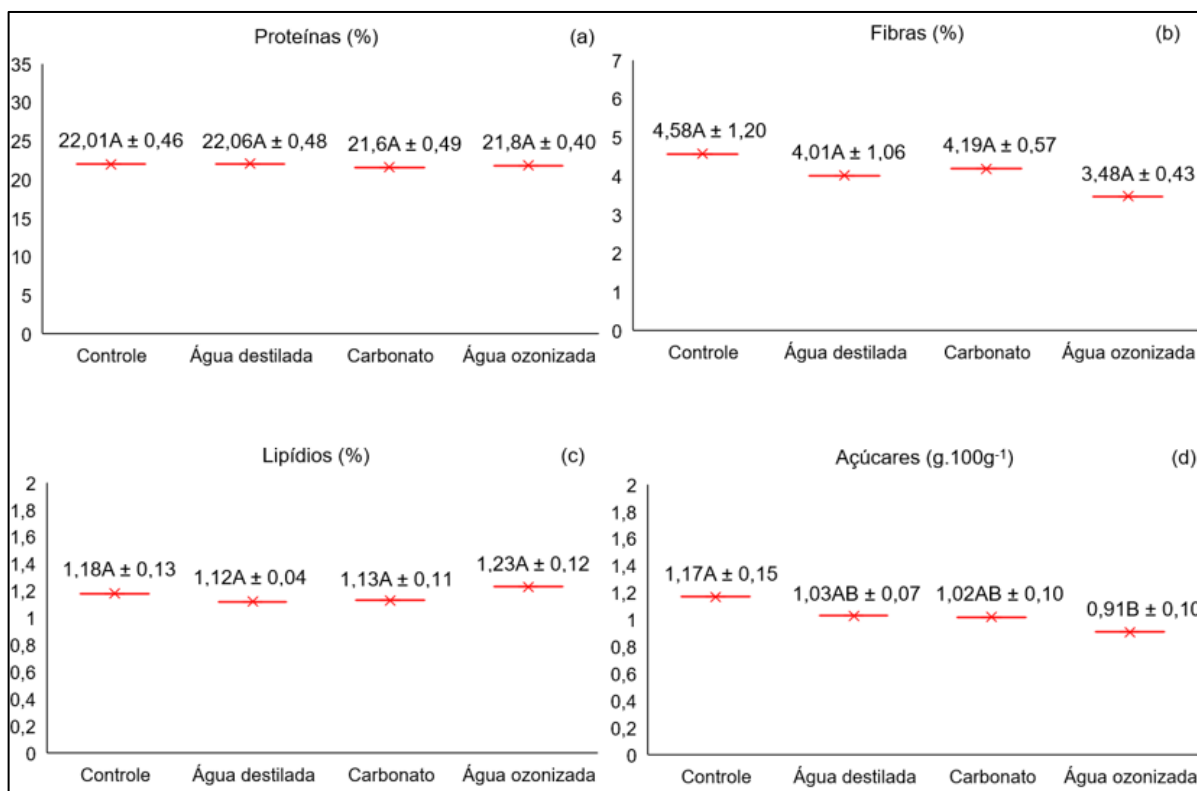


Figura 2 Valores médios para o teor de proteínas (%), fibras (%), lipídios (%) e açúcares redutores (g.100g⁻¹) dos grãos controle e processados por imersão em diferentes soluções.

Notas: *Os resultados são as médias de quatro repetições ± desvio padrão.

**Letras iguais, indicam médias estatisticamente iguais a 5% de significância.

A Figura 2(a) apresenta os valores médios de proteínas para os grãos controle e processados. Observou-se que, para a variável resposta teor de proteínas, não houve diferença estatística significativa para os diferentes tratamentos, ao nível de 5% de significância. As condições de processamento utilizadas não alteraram o teor de proteínas dos grãos, mantendo os teores próximos aos do grão não processado (controle).

Os valores obtidos para o teor de proteínas dos grãos estão de acordo com os registrados por outros autores. Buratto et al. (2009), em estudo com 36 cultivares de feijão, registraram valores de proteína variando entre 20,5% e 28,7%. Resultados semelhantes foram observados por Cavalcante et al. (2024), que registraram variações entre 20% e 25% para o teor de proteína de diferentes cultivares de feijão. Teor de proteínas variando entre 18,29% e

22,47% foram observados por Lovato et al. (2018), em estudo sobre composição centesimal de diferentes cultivares de feijão.

Segundo Sathe (2008), o teor de proteínas em feijão é de suma importância, pois essas proteínas desempenham funções adicionais nos grãos, incluindo atividade de superfície, propriedades relacionadas à hidratação e estrutura, além de certas propriedades organolépticas. Portanto, técnicas de processamento que sejam capazes de manter esse parâmetro após o processamento tornam-se interessantes do ponto de vista nutricional e tecnológico, contribuindo para manter os padrões de qualidade dos grãos.

A Figura 2(b) apresenta os valores médios de fibra bruta para os grãos controle e processados. Segundo as condições propostas nos respectivos tratamentos, não houve diferença estatística significativa, ao nível de significância adotado, indicando que os diferentes tratamentos de processamento não alteraram o teor de fibra bruta nos grãos, em relação ao controle.

Valores semelhantes de fibra bruta foram observados por Elias et al. (2007), em estudo de caracterização de diferentes genótipos de feijão, com teores variando entre 1,30% e 5,01%. Gomes et al. (2012) registraram teores de fibra bruta de 4,22% a 5,02% em diferentes variedades de feijão dos grupos cores, preto e branco. Ronko et al. (2021) verificaram variações entre 3,0% e 4,0% no teor de fibra bruta de grãos de feijão comum.

O teor de fibras nos grãos de leguminosas, como o feijão, pode ser afetado pelo processamento, resultando em possível redução da quantidade de fibras e alterações no produto (Keskin et al., 2022). As fibras possuem a capacidade de alterar características texturais e sensoriais dos alimentos, devido às mudanças físico-químicas que podem ocorrer caso haja alteração dos seus parâmetros (Martens; Nilsen; Provan, 2017). Nesse sentido, o processamento conforme as técnicas desenvolvidas no presente estudo pode ser uma alternativa com potencial para conservar o teor de fibra presente nos grãos, não comprometendo seu conteúdo após o processamento e contribuindo para a manutenção da qualidade dos grãos processados.

A Figura 2(c) apresenta os valores médios de teor de lipídios para os grãos controle e processados. Observou-se que os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa, ao nível de 5% de significância, indicando que o processamento dos grãos, segundo as condições estabelecidas pelos diferentes tratamentos, não alterou o conteúdo lipídico dos grãos em comparação aos grãos controle.

O teor de lipídios em grãos de feijão é relativamente baixo, variando entre 0,8% e 2,34% (Pires et al., 2005; Rêgo; Mata, 2024). Os valores observados no presente estudo estão dentro da faixa registrada por outros autores para grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Lovato et al. (2018), em estudo sobre a composição centesimal de cultivares de feijão, observaram variações entre 1,15% e 1,78% para a fração lipídica dos grãos. Ronko et al.

(2021), em estudo com diferentes variedades de feijão comercial, registraram teores de lipídios variando entre 1,16% e 1,37%.

Embora a quantidade de lipídios seja pequena nos grãos de feijão, eles desempenham várias funções importantes. Os lipídios são componentes fundamentais das membranas celulares, contribuindo para sua integridade, fluidez e funcionalidade, sendo essenciais para o transporte de nutrientes e a sinalização celular. Além disso, os lipídios contribuem para o sabor e a textura dos grãos de feijão, afetando a suavidade e a palatabilidade após o cozimento. Alterações em sua composição e estrutura podem comprometer a qualidade dos grãos (Ferreira; Barrigossi, 2021).

A Figura 2(d) apresenta os valores médios do teor de açúcares redutores dos grãos controle e processados. Entre os tratamentos avaliados, a imersão dos grãos em água ozonizada foi o único tratamento que demonstrou diferença estatisticamente significativa em relação ao controle, ao nível de significância adotado (5%), embora não tenha diferido estatisticamente da imersão somente em água e da imersão em solução de 3% de carbonato de sódio.

Apesar da redução observada na condição de imersão dos grãos de feijão em água ozonizada, os resultados obtidos para o teor de açúcares redutores no presente trabalho são superiores aos relatados por Cassol et al. (2016), que encontraram variações entre 0,2 e 0,9 g.100 g⁻¹ para diferentes variedades de feijão. Segundo esses mesmos autores, o teor de açúcares pode ser influenciado por diversos fatores, como variedade e tempo de armazenamento.

A redução do teor de açúcares quando os grãos são imersos em água ozonizada pode ser resultado da capacidade oxidante do ozônio e da interação do ozônio com diferentes enzimas (Khanashyam; Shanker; Pandiselvam, 2023). Os açúcares redutores presentes nos tecidos vegetais, encontrados em diferentes proporções nos alimentos, sofrem interferência direta de enzimas que atuam no metabolismo dos carboidratos solúveis, realizando reações de conversão que podem utilizar os açúcares como fonte de energia, resultando na redução dos teores, devido às transformações da matriz original. Além disso, os açúcares redutores possuem a capacidade de reduzir agentes oxidantes, devido à presença de um grupo aldeído ou cetona livre. Esses grupos funcionais podem participar em reações de oxidação-redução (Fennema, 1996).

A Tabela 7 apresenta os resultados dos compostos secundários analisados nos grãos processados e no controle. Para atender o pressuposto de normalidade dos dados, os dados obtidos para a análise de capacidade antioxidante (DPPH) foram transformados pela função logarítmica ($y = \log(x)$).

Tabela 7 Valores médios de fitatos ($\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$), taninos ($\text{mg. } 100\text{g}^{-1}$) e capacidade antioxidante ($\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$) dos grãos controle e processados por imersão em diferentes soluções

Tratamentos	Fitatos ($\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$)	Taninos ($\text{mg. } 100\text{g}^{-1}$)	DPPH ($\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$)
Controle	0,12 a $\pm$ 0,01	186,1 a $\pm$ 2,81	1,75 a $\pm$ 0,11
Água destilada	0,10 b $\pm$ 0,06	97,02 b $\pm$ 3,48	1,02 b $\pm$ 0,13
Carbonato de sódio	0,13 a $\pm$ 0,01	42,88 d $\pm$ 2,00	0,43 d $\pm$ 0,15
Água ozonizada	0,11 ab $\pm$ 0,01	83,93 c $\pm$ 3,05	0,72 c $\pm$ 0,01

Notas: *Os resultados são as médias de quatro repetições $\pm$ desvio padrão.

**Letras iguais, indicam médias estatisticamente iguais a 5% de significância.

Para o teor de fitatos dos grãos, observou-se que a imersão dos grãos em água destilada foi o único tratamento que demonstrou diferença estatística significativa, em relação ao controle, exibindo redução no teor de fitatos nos grãos após o processamento.

Os valores registrados para o teor de fitatos neste estudo são superiores aos observados por Barreto et al. (2021), que relataram valores variando entre 0,0176 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$ e 0,0208 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$ para grãos de feijão preto provenientes de plantio orgânico e convencional em diferentes regiões. Resultados menores para o teor de fitatos também foram observados por Palacio-Márquez et al. (2021), em estudo das propriedades de compostos bioativos de 155 variedades de feijão, que relataram valor máximo de 0,014 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$. Por outro lado, Silochi et al. (2016), em avaliação da qualidade de feijões do tipo carioca, verificaram valores próximos aos registrados neste estudo, com teor de ácido fítico variando entre 0,10 e 0,14 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$. Valores semelhantes foram observados por Cassol, Coelho e Fortes (2023), com variações entre 0,17 e 0,21 $\mu\text{g. } \mu\text{g}^{-1}$.

Conforme destacado por Kumar et al. (2010), técnicas de processamento, como a imersão em soluções, podem reduzir o teor de fitatos nos grãos, uma vez que esses compostos possuem solubilidade em água. Essa solubilidade está sujeita a fatores como pH, temperatura e concentrações de íons metálicos na solução, sendo menos solúveis em pH alcalino.

A redução do teor de fitatos pode ser relevante do ponto de vista nutricional, considerando que os fitatos têm a capacidade de formar complexos com minerais dietéticos, especialmente ferro e zinco (Araújo, 2012). Também afeta negativamente a utilização de proteínas e lipídios, sendo uma grande preocupação para os indivíduos que dependem principalmente de alimentos derivados de plantas (Kumar et al., 2010).

Para o teor de taninos, observou-se diferença estatística significativa entre todos os tratamentos avaliados (Tabela 6). As condições de processamento utilizadas nos diferentes tratamentos reduziram a quantidade de taninos nos grãos após o processamento, em comparação ao controle. A maior redução foi observada para o tratamento de imersão dos

grãos em solução de 3% de carbonato de sódio, seguida da imersão em água ozonizada e imersão em água destilada, respectivamente.

A redução do teor de taninos nos grãos quando hidratados é resultado da sua capacidade de solubilidade em água, sendo influenciada diretamente pelo meio de imersão (Ribeiro; Seravali, 2007). Esse fenômeno é corroborado no presente estudo, no qual foi possível observar que a imersão em solução contendo apenas água destilada reduziu o teor de taninos em cerca de 48%, em relação aos grãos não processados (controle). Além disso, as características do meio de imersão, como pH, condutividade elétrica, temperatura e tipo de solução, também podem afetar a quantidade de taninos nos grãos. A utilização de tratamentos químicos, como tratamentos alcalinos, contribui para a degradação dos compostos fenólicos, nos quais os taninos estão presentes (Araújo, 2012).

O efeito do ozônio na redução dos taninos pode estar relacionado à sua capacidade oxidante potente, capaz de reagir com compostos orgânicos presentes nos alimentos, como os taninos, que apresentam capacidade antioxidante e podem ser degradados durante a reação com o ozônio (Khanashyam; Shanker; Pandiselvam, 2023). Essa propriedade do ozônio de oxidar e decompor compostos orgânicos é uma das razões pelas quais ele é utilizado em processos de purificação e desinfecção de água e alimentos (Premjit et al., 2022).

Segundo Mekonnen, Hassan e Ateye (2024), os taninos são compostos fenólicos especiais que têm a capacidade de se combinar com proteínas e outros polímeros, como polissacarídeos, exercendo efeitos antinutricionais ao reduzir a digestibilidade das proteínas, carboidratos e minerais, apesar de indicarem a presença de antioxidantes. Nesse sentido, a redução do teor de taninos, assim como dos fitatos, apresenta efeito benéfico do ponto de vista nutricional e tecnológico.

A análise da capacidade antioxidante (DPPH) revelou diferenças estatisticamente significativas em todos os tratamentos, com um nível de significância de 5% (Tabela 6). As diferentes condições de processamento empregadas resultaram em redução da capacidade antioxidante dos grãos em comparação com o controle. De maneira consistente com os resultados obtidos para os teores de taninos, a maior redução na atividade antioxidante foi observada no tratamento que envolveu a imersão dos grãos em solução de 3% de carbonato de sódio, seguido pela imersão em água ozonizada e em água destilada, respectivamente.

Os valores obtidos para a capacidade antioxidante estão abaixo dos relatados por Cassol, Coelho e Fortes (2023), que, ao avaliarem diferentes variedades de feijão orgânico, encontraram valores variando entre 2,35 e 2,53 $\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$. Resultados superiores foram observados por Aquino-Bolaños et al. (2016), que avaliaram 26 diferentes populações de feijão e registraram valores de capacidade antioxidante pelo método DPPH variando entre 7,1 e 32,4 $\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$. Por outro lado, resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo foram observados por Oomah, Cardador-Martínez e Loarca-Pinã (2005), que registraram

variações na atividade antioxidante entre 0,42 e 1,33 $\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$, em estudo com 6 variedades de feijão.

A atividade antioxidante dos alimentos pode variar conforme o tipo de produto, os tipos de compostos antioxidantes presentes, o método de processamento, as condições de armazenamento e as variações genéticas (Ordóñez, 2005). Segundo Cardador-Martínez et al. (2006), a capacidade antioxidante está diretamente relacionada ao conteúdo de compostos com capacidade antioxidante, sendo a atividade antioxidante influenciada diretamente pelos teores desses compostos. No presente estudo, a redução da capacidade antioxidante após o processamento pode ser atribuída à redução dos compostos com potencial antioxidante, como os taninos. Essa associação é evidenciada pela relação observada entre a redução nos teores de taninos e a capacidade antioxidante, em que os tratamentos que resultaram na maior redução dos teores de taninos também apresentaram menor capacidade antioxidante.

5.4 CONCLUSÕES

- A imersão de grãos de feijão em soluções contendo carbonato de sódio, bicarbonato de sódio e ozônio é uma estratégia promissora para reduzir de forma significativa o tempo de cozimento dos grãos. Dentre os agentes testados, o carbonato de sódio se mostrou o mais eficaz.
- A utilização de água ozonizada durante o processo de hidratação dos grãos de feijão demonstrou capacidade para aumentar a absorção de água pelos grãos e minimizar as alterações de cor no produto após o processamento, apresentando maior efetividade à temperatura de 5 °C.
- A imersão dos grãos de feijão em água ozonizada aumenta o nível de danos ao produto após o processamento, embora esses danos sejam considerados baixos para esse tipo de processamento.
- O uso de carbonato de sódio e água ozonizada no processo de hidratação dos grãos de feijão resultou na redução do teor de taninos e da capacidade antioxidante, sem alterar os teores de fibras, proteínas e lipídios.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. 601 p.
- AQUINO-BOLAÑOS, E. N.; GARCÍA-DÍAZ, Y. D.; CHAVEZ-SERVIA, J. L.; CARILLO-RODRÍGUES, J. C.; VERA-GUZMÁN, A. M.; HEREDIA-GARCÍA, E. Anthocyanin, polyphenol, and flavonoid contents and antioxidant activity in Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 25, n. 8, p. 581-588, 2016.
- ASIIMWE, R.; KATUNGI, E.; MARIMO, P.; MUKANKUSI, C.; RUBYOGO, J. C.; ANTHONY, V. Evaluating consumer preferences for reduced cooking time, taste and colour of beans in rural and urban communities in Uganda. **Agriculture & Food Security**, v. 13, n. 19, p. 2-30, 2024.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS-AOAC. **Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemists International**. 16th. ed. Washington, 1995.
- ASLAM, R.; ALAM, M. S.; PANDISELVAM, R. Aqueous ozone sanitization: System for fresh produce: Design, development, and optimization of process parameters for minimally processed onion. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, n. 1, p. 3-16, 2022.
- BARRETO, N. M. B.; PIMENTA, N. G.; BRAZ, B. F.; FREIRE, A. S.; SANTELLI, R. E.; OLIVEIRA, A. C. O.; BASTOS, L. H. P.; CARDOSO, M. H. W. M.; MONTEIRO, M.; DIOGENES, M. E. L.; PERRONE, D. Organic black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Rio de Janeiro state, Brazil, present more phenolic compounds and better nutritional profile than nonorganic. **Foods**, v. 10, p. 1-14, 2021.
- BERNFELD, P. Amylases, α and β . **Methods in Enzymology**, v. 1, p. 149-157, 1955.
- BHOKRE, C. K.; JOSHI, A. A. Effect of soaking on physical functional and cooking time of cowpea, horsegram and mothbean. **Food Science Research Journal**, v. 6, n. 2, p. 357-362, 2015.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C.. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm Wiss Tech**, Oval Rd, London, United Kingdom, v. 28, p. 25-30, 1995.
- BRASIL – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399 p.
- BURATTO, J. S.; CIRINO, V. M.; SCHOLZ, M. B. S.; LANGAME, D. E. M.; JUNIOR, N. S. F.; PRÉTE, C. E. C. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, PR, v. 31, n. 4, p. 593-597, 2009.
- BUZERA, A.; KINYANJUI, P.; ISHARA, J.; SILA, D. Physical and cooking properties of two varieties of bio-fortified common beans (*Phaseolus Vulgaris*. L) grown in DR Congo. **Food Science and Quality Management**, v. 71, p. 1-12, 2018.

CARBONELL, S. A.; CARVALHO, C. R. L.; PEREIRA, V. R. Qualidade tecnológica de grãos de genótipos de feijoeiro cultivados em diferentes ambientes. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 62, n. 3, p. 369-379, 2003.

CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; ALBORES, A.; BAH, M.; CALDERÓN-SALINAS, V.; CASTAÑO-TOSTADO, E.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R.; SHIMADA-MIYASAKA, A.; LOARCA-PIÑA, G. Relationship among antimutagenic, antioxidant and enzymatic activities of methanolic extract from common beans (*Phaseolus Vulgarius*. L). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 61, p. 161-168, 2006.

CASSOL, F. D. R.; FORTES, A. M. T.; COELHO, S. R. M.; SPIASSI, A.; BOIAGO, N. P. MENDONÇA, L. C.; BUTURI, C. V.; PILATTI, D. M. Comportamento bioquímico de sementes e grãos de feijão durante o armazenamento. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 32, n. 6, p. 1545-1551, 2016.

CASSOL, F. D.; COELHO, S. R. M.; FORTES, A. M. T. Influência do armazenamento sobre as características nutricionais e tecnológicas de feijão carioca orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, n.12, p. 165-188, 2023.

CAVALCANTE, A. G.; MEIRELLES, F. C.; FILLA, V. A.; CAVALCANTE, A. C. P.; LEMOS, L. B. Qualidade tecnológica de grãos de feijoeiro especial durante o armazenamento. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, MT, v. 12, n. 1, p. 133-139, 2024.

COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; DANELLI, A. L. D.; PEREIRA, T.; SANTOS, J. C. P.; PIAZZOLI, D. Capacidade de cocção de grãos de feijão em função do genótipo e da temperatura da água de hidratação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 32, n. 4, p. 1080-1086, 2008.

COELHO, J. D. Feijão. **Caderno setorial ETENE**, Fortaleza, CE, n. 322, p.1-8, 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Portal de informações agropecuárias**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 10 abr. 2024.

DE LEON, L. F.; ELÍAS, L. G.; BRESSANI, R. Effect of salt solution on the cooking time, nutritional and sensory characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Food Research International**, v. 25, n. 2, p. 131-136, 1992.

DIDINGER, C.; CICHY, K. URREA, C. A.; SCANLAN, M.; THOMPSON, H. The effects of elevation and soaking conditions on dry bean cooking time. **Legume Science**, v. 5, n.4, e207, 2023.

ELIAS, H. T.; VIDIGAL, M. C. G.; GONELA, A.; VOGT, G. A. Variabilidade genética em germoplasma tradicional de feijão-preto em Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1443-1449, 2007.

FENNEMA, O. R. **Food chemistry**. 3rd. ed. EUA: Taylor & Francis Group, 1996. 1067 p.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2021, 164 p.

GARAMOON, A. A.; ELAKSHAR, F. F.; ELSAWAH, M. Optimizations of ozone generator at low resonance frequency. **European Physical Journal Applied Physics**, v. 48, n. 2, 2009.

GOMES, F.A.; LIMA, M. O.; MATTAR, E. P. L.; FERREIRA, J. B.; VALE, M. A. D. Aspectos nutritivos de feijões crioulos cultivados no vale do Juruá, Acre, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, GO, v. 8, n. 14, p. 85-96, 2012.

HORWITZ, H. **Official method of analysis of the association of official agricultural chemists**. Agricultural Chemistry, Washington, 1995. p. 144.

KESKIN, S. O.; ALI, T. M.; AHMED, J.; SHAIKH, M.; SIDDIQ, M.; UEBERSAX, M. A. Physico-chemical and functional properties of legume protein, starch, and dietary fiber. A review. **Legume Science**, v. 4, n. 1, e117, 2022.

KHANASHYAM, A. C.; SHANKER, M. A.; PANDISELVAM, R. **Enzyme Inactivation in Food Processing**. 1st. ed.: New York: Apple Academic Press, 2023, 29 p.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGUE, D. M.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; NDAKA, D. S.; HENDRICKX, M. Hydration properties and texture fingerprints of easy-and hard-to-cook bean varieties. **Food Science & Nutrition**, v. 3, n. 1, p. 39-47, 2015.

KINYANJUI, P. K.; NJOROGUE, D. M.; MAKOKHA, A. O.; CHRISTIAENS, S.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. Quantifying the effects of postharvest storage and soaking pretreatments on the cooking quality of common Beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, e13036, 2016.

KLÂSENER, G. R.; RIBEIRO, N. D.; CASAGRANDE, C. R.; ARNS, F. D. Consumer preference and the technological and nutritional quality of different beans colours. **Acta Scientiarum**, v. 42, n. 2, e43689, 2020.

KUMAR, V.; SINHA, A.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. **Food Chemistry**, v. 120, n. 4, p. 945-959, 2010.

KWOFIE, E. M.; MBA, O. I.; NGADI, M.; KENNEDY, G. Nutrition-sensitive bean processing: analysis of degradation trade-off of softening techniques on some essential trace elements. **International Journal of Food and Nutrition**, v. 2, n. 3, p. 1-10, 2019.

LATTA, M.; ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 28, n. 6, p. 1313-1315, 1980.

LIMA, D. C.; VILLARB, J.; CASTANHA, N.; MANIGLIA, B. C.; JUNIOR, M. D. M.; AUGUSTO, P. E. D. Ozone modification of arracacha starch: Effect on structure and functional properties. **Food Hydrocolloids**, v. 108, 106066, 2020.

LIMA, M. J. A.; FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Aplicações e implicações do ozônio na indústria, ambiente e saúde. **Química Nova**, São Paulo, SP, v. 44, n. 9, p. 1151-1158, 2021.

LOVATO, F.; KOWALESKI, J.; SILVA, S. Z.; HELDT, L. F. S. Composição centesimal e conteúdo mineral de diferentes cultivares de feijão biofortificado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, SP, v. 21, e2017068, 2018.

MARTENS, L. G.; NILSEN, M. M.; PROVAN, F. Pea hull fibre: Novel and sustainable fibre with important health and functional properties. **EC Nutrition**, v. 10, n. 4, p. 139-148, 2017.

MEKONNEN, H. K.; HASSAN, S. M.; ATEYE, M. D. Nutritional composition, utilization, and processing of haricot beans (*Phaseolus vulgaris* L): A comprehensive review. **Asian Journal of Advanced Research and Reports**. v. 18, n. 5, p. 178-187, 2024.

NJOROGE, D. M.; KINYANJUI, P. K.; CHIGWEDERE, C. M.; CHRISTIAENS, S.; MAKOKHA, A. O.; SILA, D. N.; HENDRICKX, M. E. Mechanistic insight into common bean pectic polysaccharide changes during storage, soaking and thermal treatment in relation to the hard-to-cook defect. **Food Research International**, v. 81, p. 39-49, 2016.

OOMAH, B. D.; CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; LOARCA-PINÃ, G. Phenolics and antioxidative activities in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, n. 6, p. 891-1072, 2005.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnología de alimentos**. 1. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2005. 294 p.

PALACIO-MÁRQUEZ, A. OJEDA-BARRIOS, D.; JIMÉNEZ-CASTRO, J.; PRECIADO-RANGEL, P.; HERNÁNDEZ-RODRIGUEZ, O. A.; SÁNCHEZ, E. Biofortification potential in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): bioactive compounds, antioxidant capacity and physicochemical properties of 155 varieties grown in México. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal**, v. 49, n. 1, p. 112-123, 2021.

PAN, Z.; ATUNGULU, G. G.; WEI, L.; HAFF, R. Development of impact acoustic detection and density separations methods for production of high-quality processed beans. **Journal of Food Engineering**, Daves, v. 97, n. 1, p. 292-300, 2010.

PANDISELVAM, R.; MANIKANTAN, M. R.; DIVYA, V.; ASHOKKUMAR, C.; KAAVYA, R.; KOTHAKOTA, A.; RAMESH, S. V. Ozone: an advanced oxidation technology for starch modification. **Ozone: Science & Engineering**, v. 41, n. 6, p. 491-507, 2019.

PAZ, C. H. O.; COELHO, S. R. M.; SCHOENINGER, V.; CHRIST, D.; GRANELLA, S. J. Processing in different solutions to obtain dried beans with reduced cooking time. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 90, e103491, 2023.

PEDONE, I. S.; NARITA, I. M. P.; SILVEIRA, M. M.; BASSINELLO, P. Z.; VANIER, N. L.; COLUSSI, R. Quick-cooking beans technology: Effects of the drying temperature on end-product quality. **Cereal Chemistry**, v. 101, p. 1-13, 2024.

PEDROSA, M. M.; QUADRADO, C.; BURBANO, C.; MUZQUIZ, M.; CABELLOS, B.; OLMEDILLA-ALONSO, B.; ASENSIO-VEGAS, C. Effects of industrial canning on the proximate composition, bioactive compounds contents and nutritional profile of two Spanish common dry beans (*Phaseolus Vulgaris*. L). **Food Chemistry**, v. 166, p. 68-75, 2015.

PIRES, C. V.; OLIVEIRA, M. G. A.; CRUZ, G. A. D. R.; MENDES, F. Q.; REZENDE, S. T.; MOREIRA, M. A. Composição físico-química de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, SP, v. 16, n. 2, p. 157-162, 2005.

PIRHAYATI, M.; SOLTANIZADEH, N.; KADIVAR, M. Chemical and microstructural evaluation of 'hard-to-cook' phenomenon in legumes (pinto bean and small-type lentil). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 9, p. 1884-1890, 2011.

PREMJIT, Y.; SRUTHI, N. U.; PANDOSELVAM, R.; KOTHAKOTA, A. Aqueous ozone: Chemistry, physiochemical properties, microbial inactivation, factors influencing antimicrobial effectiveness, and application in food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 2, p. 1054-1085, 2022.

PROCTOR, J. R.; WATTS, B. M. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Apple Hill, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

- RAKNESS, K.; GORDON, G.; LANGLAIS, B.; MASSCHELEIN, W.; MATSUMOTO, N.; RICHARD, Y.; SOMIYA, I. Guideline for measurement of ozone concentration in the process gas from an ozone generator. **Ozone: Science & Engineering**, v. 18, n. 3, p. 209-229, 1996.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2. ed. São Paulo, SP: Blücher, 2007. 184 p.
- RIBEIRO, N. D.; CASAGRANDE, C. R.; MEZZOMO, H. C.; KLÂSNER, G. R.; STECKLING, S. M. Consumer preference and the technological, cooking and nutritional quality of carioca beans. **Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 40, n. 2, p. 651-664, 2019.
- RÊGO, L. V. C.; MATA, M. E. R. M. C. Composição físico-química em acessos de feijão *Phaseolus vulgaris* L. produzidos no semiárido brasileiro. **Conciliun**, v. 24, n. 4, p. 207-2016, 2024.
- RONKO, L. Z.; CHEZINI, A.; BASSO, F. G.; DEMIATE, I. M. Caracterização físico-química de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e das propriedades tecnológicas de sua fração amido. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Francisco Beltrão, PR, v. 15, n.1, p. 3534-3555, 2021.
- SATHE, S. K.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKHE, D. K. Dry beans of *Phaseolus*. A review. Part 2. Chemical composition: Carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, EUA - Boca Raton, v. 21, p. 41-91, 1984.
- SATHE, S. K. Dry bean protein functionality. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 22, n. 2, p. 175-223, 2008.
- SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D.; SAMPAIO, S. C. Processing parameter optimization for obtaining dry beans with reduced cooking time. **LWT - Food Science and Technology**, v. 56, n. 1, p. 49-57, 2014.
- SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; BASSINELLO, P. Z. Industrial processing of canned beans. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 47, n. 5, p. 1-9, 2017.
- SCHOENINGER, V.; COELHO, S. R. M.; BASSINELLO, P. Z.; PRADO, N. V.; BISCHOFF, T. Z.; SIQUEIRA, V. C. Adaptability of brazilian beans cultivars to industrial canning. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 50, n. 9, e20200048, 2020.
- SILOCHI, R. M. H. Q.; COELHO, S. R. M.; BISCHOFF, T. Z.; CASSOL, F. D. R.; PRADO, N. V.; BASSINELLO, P. A. Nutritional technological characterization and secondary metabolites in stored carioca bean cultivars. **African Journal of Agricultural**, v. 14, n. 24, p. 2102-2111, 2016.
- SILOCHI, R. M. H. Q.; SCHOENINGER, V.; HOSCHER, R. H.; RODRIGUES, N. G. E. Aspectos que influenciam a aquisição e preparo do feijão comum por consumidores domésticos. **Faz Ciência**, Francisco Beltrão, PR, v. 23, n. 37, p. 147-164, 2021.
- SILVA, M. V. A.; FARONI, L. R. A.; MARTINS, M. A.; SOUSA, A. H.; BUSTOS-VANEGAS, J. D. CFD simulation of ozone gas flow for controlling *Sitophilus zeamais* in rice grains. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 88, A. 101675, 2020.

SITOE, E. P. E.; ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. A.; FONTES, E. A.; SILVA, M. V. A.; MACHADO, F. J.; PANDISELVAM, R.; MAGALHÃES, C. G. Application of ozone at low-pressure: Control of egg and larval phases of *Zabrotes Subfasciatus*, inactivation of *Aspergillus Flavus* and qualitative changes in beans grains. **Food Control**, v. 158, A. 110238, 2024.

SUJAYASREE, O. J.; CHAITANYA, A. K.; BHOITE, R.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A.; GAVAHIAN, M.; KHANEGHAH, A. M. Ozone: an advanced oxidation technology to enhance sustainable food consumption through mycotoxin degradation. **Ozone: Science & Engineering**, v. 44, p. 17-37, 2022.

ZAMINDAR, N.; BAGHEKHANDAN, M. S.; NASIRPOUR, A.; SHEIKHZEINODDIN, M. Effect of line, soaking and cooking time on water absorption, texture and texture and splitting of red kidney beans. **Journal of Food Science and Technology**, v. 50, n. 1, p.108-114, 2013.

ZHAO, B.; CHANG, K. C. Evaluation of effects of soaking and precooking conditions on the quality of precooked dehydrated pea, lentil and chickpea products. **Journal of Food Processing and Preservation**, Wyndmoor, v. 32, n. 1, p. 517-532, 2008.