

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

DISSERTAÇÃO

**Obtenção de massa alimentícia integral isenta glúten à base de
farinhas pré-cozidas por extrusão de milheto (*Pennisetum glaucum*
(L.) R. Br.) e grão-de-bico adicionada de transglutaminase**

Rafaella Torres Batista

Seropédica, RJ
Janeiro, 2023



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

**Obtenção de massa alimentícia integral isenta glúten à base de farinhas
pré-cozidas por extrusão de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) e grão-de-
bico adicionada de transglutaminase**

RAFAELLA TORRES BATISTA

Sob a orientação do Professor
Dr. Carlos Wanderlei Piler de Carvalho
e
Co-orientação da
Dra. Melicia Cintia Galdeano

Dissertação submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre em
Ciências e Tecnologia de Alimentos, no
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, área Tecnologia de
Alimentos.

Seropédica, RJ
Janeiro, 2023

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

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

B333o Batista, Rafaella Torres, 1987-
Obtenção de massa alimentícia integral isenta glúten
à base de farinhas pré-cozidas por extrusão de milho
(Pennisetum glaucum (L.) R. Br.) e grão-de-bico
adicionada de transglutaminase / Rafaella Torres
Batista. - Nova Iguaçu, 2023.
88 f.: il.

Orientador: Carlos Wanderlei Piler de Carvalho.
Coorientadora: Melícia Cintia Galdeano.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, PPGCTA, 2023.

1. extrusão. 2. milho. 3. celíacos. 4.
transglutaminase. 5. grão de bico. I. Carvalho,
Carlos Wanderlei Piler de, 1967-, orient. II.
Galdeano, Melícia Cintia, 1975-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. PPGCTA.
IV. Título.



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



TERMO Nº 30 / 2023 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.002507/2023-25

Seropédica-RJ, 18 de janeiro de 2023.

RAFAELLA TORRES BATISTA

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

Dissertação APROVADA EM 18/01/2023.

CARLOS WANDERLEI PILER DE CARVALHO (Dr) EMBRAPA(orientador)

JOSÉ LUIS RAMIREZ ASCHERI (Dr) EMBRAPA

FELIPE MACHADO TROMBETE (Dr) UFSJ

(Assinado digitalmente em 25/01/2023 10:42)
CARLOS WANDERLEI PILER DE CARVALHO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 009.412.587-26

(Assinado digitalmente em 30/01/2023 09:32)
FELIPE MACHADO TROMBETE
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 092.685.916-18

(Assinado digitalmente em 09/02/2023 15:46)
JOSE LUIS RAMIREZ ASCHERI
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 105.290.788-13

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **30**, ano: **2023**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **18/01/2023** e o código
de verificação: **640e70c286**

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho aos meus pais Rogério e Cléo, pela oportunidade em vir a este mundo e sempre serem meu apoio e suporte para alcançar todos os meus sonhos.

Ao meu marido Igor Ferreira por toda paciência e calma nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Dedico a toda minha ancestralidade, especialmente a minha vó Nazinha e Tia Lúcia, que me mostraram a força que a mulher tem em suas pluralidades.

Também dedico este trabalho a todas as pessoas que apesar das dificuldades impostas, encontraram nos estudos a chance de mudança de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente Deus, pela sua infinita misericórdia, luz, força e graça sobre a minha vida, por me permitir concluir esse sonho em meio a uma pandemia mundial, fragilidade emocional, e aos problemas que nos afligiram nesse furacão que foi 2020, 2021 e 2022. Obrigada Senhor pelo amadurecimento, pela saúde, pela cura da minha mãe (essa vitória é especialmente nossa, sua força me deu força para caminhar), por todas as oportunidades e por nunca desistir de mim e não me permitir desistir. Agradeço imensamente pelo gosto pelo estudo, pela oportunidade em sempre me aproximar de boas pessoas durante a vida que tanto me estimularam, desde as tias na infância até os professores da faculdade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade concedida para realizar os estudos de pós-graduação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo apoio, em especial ao meu Orientador Professor Carlos Piler, por acreditar em mim e me dar a grande oportunidade de poder aprender com o profissional brilhante que ele é. Agradeço também imensamente a minha coorientadora Melicia Galdeano, que foi luz em minha vida nos momentos mais difíceis, onde os problemas e o tempo diziam que eu não conseguiriam e ela com todo amor e paciência me guiou por esse caminho desafiante que é a vida e a pesquisa. Ao professor Davy Chávez que foi peça fundamental no entendimento estatístico do trabalho.

A EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, pelas instalações cedidas para a execução completa do presente estudo. Lugar que tem me ensinado a fazer ciência.

Aos analistas e técnicos da planta piloto IV da EMBRAPA – Agroindústria de alimentos, em especial a Adriana Minguita que me ajudou com mão forte e foi uma professora e parceira incrível para que essas massas alimentícias dessem certo! Agradeço também a Mariana Mattos e Neuri Menezes pela contribuição e boa vontade durante as análises.

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

Aos meus amigos queridos, o que seria de mim sem vocês? André Leonardo e Welison Santos que foram base de incentivo para mim, me disseram que eu seria capaz e agora estou aqui entregando essa dissertação! Amo vocês. Aos queridos companheiros de laboratório Thais, Monique, Mylena, Rodrigo, Maria Eugenia, Jhony, Raul e Joel, as trocas foram de fundamental importância nessa jornada.

A toda minha família por acreditar em mim, especialmente, a minha querida Miriam.

Aos poucos e verdadeiros amigos pessoais, por todo apoio psicológico, físico e espiritual e a todos que de uma forma ou de outra colaboraram prontamente na execução deste trabalho, tornando possível sua realização, quero expressar minha gratidão.

*"Para o homem é impossível, mas para Deus todas as coisas são possíveis".
(Mateus 19:26)*

RESUMO

BATISTA, Rafaella Torres. **Obtenção de massa alimentícia integral isenta de glúten à base de farinhas extrudadas de grão-de-bico e milho (Pennisetum glaucum (L.) R. Br.), 2022.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2022.

A massa alimentícia integral sem glúten é ótima opção para as principais refeições de indivíduos portadores da doença celíaca e também para aqueles que optam por estes produtos com propósitos de saudabilidade e diversificação da dieta. O milho é um cereal com altos teores de fibras alimentares, minerais, lipídeos, proteínas e ainda é isento de glúten, sendo uma interessante opção de alimento para celíacos. Porém, como os demais cereais, ele possui deficiência de certos aminoácidos. O enriquecimento de produtos à base de cereais com farinha de leguminosas tem vantagens nutricionais, notoriamente a de melhorar o balanço de aminoácidos. O grão-de-bico é uma opção altamente desejável, como fonte proteica vegetal e funcionalidade tecnológica em mistura com cereal, já que contribui para melhoria do aspecto nutricional. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma massa alimentícia gluten-free adicionada da enzima transglutaminase, utilizando a tecnologia de extrusão para cozimento e formação do produto. Utilizou-se a metodologia de superfície de resposta para se obter modelos matemáticos preditivos para as propriedades estudadas e desenvolveu-se um delineamento fatorial 2^2 com três pontos centrais a fim de se avaliar os efeitos dos diferentes percentuais de farinha integral de milho em mistura com farinha integral de grão-de-bico em três proporções: 30:70, 70:30 e 50:50 e umidade de processamento na extrusão (20, 35 e 50%) para obtenção das farinhas pré-cozidas, avaliando a composição centesimal, as propriedades físicas (granulometria índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) e viscosidade de pasta) e de qualidade das massas (teste de cozimento e textura). Com o objetivo de se escolher a melhor proporção de farinhas e processamento de extrusão, foi aplicada a função desejabilidade e com o resultado foram realizados novos ensaios em que foi estudado o efeito da adição da enzima transglutaminase (Tgase), utilizando-se da mesma metodologia de superfície de resposta para se obter modelos matemáticos preditivos para as propriedades estudadas com um delineamento fatorial 2^2 com três pontos centrais para avaliar os efeitos dos diferentes percentuais de Tgase (0,5, 1,25 e 2%) e tempo de incubação (15, 35 e 45 min). Concluiu-se que, a elaboração de massas alimentícias pré-cozidas à base de milho e grão-de-bico apresentou bons resultados no tempo de cozimento, no peso e no volume (3 min, 100%, 100%, respectivamente). A continuidade do estudo avaliando outras variáveis do processamento da extrusão juntamente com ingredientes que ajudem a fortalecer e mimetizar a rede de gluten, tornará possível obter características químicas, físicas, tecnológicas que atendam ao padrão comercial. Sob o ponto de vista nutricional, massas alimentícias com farinha milho e grão-de-bico obtiveram qualidade nutricional, destacando o teor de proteína acima de 11% nas formulações. A granulometria das matérias primas foi adequada, promovendo uniformidade na massa. O uso da enzima transglutaminase exerceu pouco efeito na massa alimentícia.

Palavras-chave: extrusão, celíacos, cereal, *gluten-free*, pulses, propriedades tecnológicas.

ABSTRACT

BATISTA, Rafaella Torres. **Obtaining gluten-free whole-grain pasta based on extruded chickpea and millet flour (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)**. 2022. Dissertation (Master in Food Science and Technology). Institute of Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2022.

Gluten-free whole-grain pasta is a great option for the main meals of individuals with celiac disease and, for those who opt for these products for health purposes and diet diversification. Millet is a cereal with high levels of dietary fiber, minerals, lipids, proteins and is also gluten-free, making it an interesting food option for celiacs. However, like other cereals, it lacks certain amino acids. The enrichment of cereal-based products with legume flour has nutritional advantages, notably that of improving the balance of amino acids. Chickpeas are a highly desirable option, as a source of vegetable protein and technological functionality in a mixture with cereal, as it contributes to improving the nutritional aspect. Thus, the objective of this work was to develop a gluten-free pasta added with the transglutaminase enzyme, using extrusion technology for cooking and forming. The response surface methodology was used to obtain predictive mathematical models for the studied properties and a 22 factorial design with three central points was developed in order to evaluate the effects of different percentages of whole millet flour mixed with flour whole grain chickpea in three proportions: 30:70, 70:30 and 50:50 and processing moisture in extrusion (20, 35 and 50%) to obtain pre-cooked flours, in centesimal composition, physical properties (granulometry, index of water solubility – ISA, water absorption index – WAI, paste viscosity) and pasta quality (cooking and texture test). With the aim of choosing the best proportion of flours and extrusion processing, the desirability function was applied and, as a result, new tests were carried out in which the effect of adding the enzyme transglutaminase (Tgase) was studied, using the same methodology of response surface to obtain predictive mathematical models for the studied properties with a 22 factorial design with three central points to evaluate the effects of different percentages of Tgase (0.5, 1.25 and 2%) and incubation time (15, 35 and 45 min). It was concluded that the preparation of pre-cooked pasta based on millet and chickpeas showed good results in terms of cooking time, weight and volume (3 min, 100%, 100%, respectively). The continuation of the study evaluating other variables of the extrusion processing along with ingredients that help to strengthen and mimic the gluten network, will make it possible to obtain chemical, physical and technological characteristics that meet the commercial standard. From a nutritional point of view, the preparation of pasta with millet and chickpea flour made it possible to obtain pasta with nutritional quality, highlighting the protein content above 11% in the formulations. The granulometry of the raw materials was adequate, promoting uniformity in the mass. The use of the transglutaminase enzyme had little effect on the texture of the pasta.

Keywords: Extrusion cooking, celiacs, cereal, gluten free, pulses, technological properties

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. A doença Celíaca atinge o intestino delgado, atrofiando as vilosidades intestinais	04
Figura 2. Processo imunológico envolvido na doença celíaca.....	05
Figura 3. Esquema de extrusora de rosca simples.....	08
Figura 4. Esquema de aquecimento na extrusora.....	08
Figura 5. Diagrama esquemático mostrando a estrutura do grão de milheto.....	11
Figura 6. Anatomia do grão-de-bico.....	14

CAPÍTULO II – MATERIAL E MÉTODOS

Figura 1. Extrusora Clextral em funcionamento.....	31
Figura 2. Extrudados na bandeja e após corte para secagem.....	32
Figura 3. I- (A) grânulo de amido ainda normal, não hidratado; (B) grânulo de amido começando a intumescer e a gelatinizar devido à hidratação e ao aquecimento; (C e D) grânulo de amido intumescendo e gelatinizando devido ao aumento da hidratação e do aquecimento; (E) grânulo de amido no máximo do seu intumescimento sem ruptura; (F) ruptura do grânulo de amido; (G) dispersão das moléculas de amilose e amilopectina; (H) reorganização das moléculas de amilose e amilopectina; (I) retrogradação do amido. II- Variáveis de resposta obtidas no equipamento analisador rápido de viscosidade (RVA).....	34

CAPÍTULO III – ARTIGO: EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE ON WHOLE GRAIN GLUTEN-FREE PASTA BLENDS OF EXTRUDED PEARL MILLET AND CHICKPEA FLOURS.

Figure 1. Granulometry of raw millet and chickpea flours and the 54/46 mix	46
Figure 2. Pasting properties of raw (A) and pre-cooked (B) flours.....	50
Figure 3. Response surfaces of extruded flours. ISA: water solubility index (%); PV: peak viscosity (cP); FV: final paste viscosity (cP); BD: breakdown or breakdown of viscosity (cP), setback or retrogradation (SB). Blend (percentage of millet present in the mixture), moisture (moisture from extrusion)	51
Figure 4. Response surfaces of cooking tests of pasta based on mixed millet and chickpea flours. Blend: millet/chickpeas; Moisture: percentage of moisture in the extrusion process; SS: cooking loss.....	54
Figure 5. Multivariate analysis of extruded flours and pasta without addition of Tgase (a) main component analysis PCA- Biplo; and (b) correlogram.....	56
Figure 6. Response surfaces of cooking test and texture of pasta with addition of Tgase. Enzyme: percentage of enzyme added to the pasta; Incubation: resting time after addition of enzyme.....	59
Figure 7. Multivariate analyzes of pasta with Tgase: (a) main component PCA-Biplo analysis and (b) correlogram. TC: cooking time (min); W: weight; VL: pasta volume increase (%); SS: cooking loss (%); D: hardness (N); A: adhesiveness; E: elasticity; C: cohesiveness; G: gumminess; M: chewiness; A: resilience.....	63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II – MATERIAL E MÉTODOS

Tabela 1. Delineamento experimental para a produção das farinhas mistas pré-cozidas.....	30
Tabela 2. Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão para obtenção das farinhas extrudadas.....	30
Tabela 3. Variáveis de Resposta do delineamento.....	36
Tabela 4. Níveis das variáveis independentes estudadas na obtenção das massas alimentícias com adição de enzima transglutaminase.....	36
Tabela 5. Delineamento das massas produzidas com Tgase.....	37

CAPÍTULO III – ARTIGO: EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE ON WHOLE GRAIN GLUTEN-FREE PASTA BLENDS OF EXTRUDED PEARL MILLET AND CHICKPEA FLOURS

Table 1. Proximal composition (dry basis) of raw materials and blends used to pasta production.....	45
Table 2. Physical and pasting properties characterization flour and cooking quality of pasta.....	48
Table 3. Cooking test of pasta with and without Tgase and a commercial product.....	58
Table 4. Soluble protein content and tyrosine content after digestion of pasta.....	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
CAPÍTULO I.....	3
CAPÍTULO II.....	3
CAPÍTULO III	3
CAPÍTULO I	4
REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	4
1.1 DOENÇA CELÍACA E OUTRAS DESORDENS RELACIONADAS AO TRIGO.....	4
1.2 MASSAS ALIMENTÍCIAS.....	6
1.2.1 Definição de massas alimentícias	6
1.2.2 Massas Alimentícias Isentas Glúten	6
1.3 EXTRUSÃO DE ALIMENTOS	7
1.4 ALIMENTOS INTEGRAIS: DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA NA ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL	8
1.5 CEREAIS	10
1.5.1 Milheto.....	10
1.6 PULSES.....	12
1.6.1 Grão-De-Bico	13
1.7 USO DE ENZIMAS TRANSGLUTAMINASE EM PRODUTOS SEM GLÚTEN.....	15
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	15
CAPÍTULO II.....	26
MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
2.1 MATERIAL	26
2.2 MÉTODOS.....	26
2.2.1 Produção das farinhas de milho e de grão-de-bico	26
2.2.2 Determinação da composição química das farinhas	26
2.2.3 Distribuição granulométrica das farinhas cruas e extrudadas (pré-cozidas)	27
2.2.4 Delineamento experimental para obtenção das farinhas extrudadas	27
2.2.5 Processamento para obtenção das farinhas extrudadas (pré-cozidas) por extrusão termoplástica.....	28
2.2.6 Avaliação tecnológica das farinhas cruas e pré-cozidas.....	29
2.2.6.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)	29
2.2.6.2 Propriedades viscoamilográficas.....	30
2.2.7 Produção das massas alimentícias com as farinhas extrudadas.....	31
2.2.8 Qualidade tecnológica das massas alimentícias	32
2.2.8.1 Teste de cozimento.....	32
2.2.8.2 Análise de textura instrumental.....	32
2.2.9 Otimização da massa alimentícia e elaboração de massa alimentícia com transglutaminase.	33
2.2.10 Estudo de digestibilidade das proteínas.....	34
2.2.11 Análises estatísticas	34
CAPÍTULO III	36
ARTIGO: EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE ON WHOLE GRAIN GLUTEN-FREE PASTA BLENDS OF EXTRUDED PEARL MILLET AND CHICKPEA FLOURS	36
ABSTRACT	37
INTRODUCTION	37
MATERIALS AND METHODS.....	39
FLOUR PREPARATION.....	39
PRE-COOKED FLOUR	39

TECHNOLOGICAL EVALUATION OF RAW AND PRE-COOKED FLOURS.....	40
RESULTS AND DISCUSSION.....	42
CHARACTERIZATION OF MILLET AND CHICKPEA FLOURS AND MIXTURES	42
CONCLUSIONS.....	61
ACKNOWLEDGMENT.....	62
REFERENCES	62
CONCLUSÃO GERAL	76
ANEXOS	77

INTRODUÇÃO

A doença celíaca acomete cerca de 1% da população mundial (FENACELBRA, 2020). No Brasil a estimativa é de 300 mil brasileiros portadores da patologia, sendo mais frequente em mulheres que em homens (razão 2:1) (KOEHLER; WIESER; SCHERF, 2015). A doença celíaca é uma doença autoimune que danifica partes do intestino do indivíduo, além de causar sintomas como desconforto abdominal, diarreias, vômitos, dores de cabeça e anemia (LEBWOHL; RUBIO-TAPIA, 2021). A não interrupção de uma dieta com glúten em um portador da doença celíaca pode levar a quadros graves de lesões gastrointestinais e hepáticas e até mesmo à óbito. O único tratamento para não desencadear os sintomas da doença no celíaco é a eliminação do glúten da dieta (LEBWOHL; RUBIO-TAPIA, 2021). Portanto, é necessário cada vez mais o desenvolvimento de novos produtos que levem ao consumidor celíaco opções nutritivas e saborosas.

Segundo pesquisa realizada pela Associação dos Celíacos do Brasil, a (ACELBRA, 2017), as massas alimentícias são um dos alimentos mais desejados pelos celíacos, ficando atrás apenas dos pães. A massa alimentícia é um alimento popularmente consumido na Europa e na América. No início do século XIX veio para o Brasil com a imigração de italianos estabelecendo na região Sul as primeiras fábricas de produção de massas (ABIMAPI, 2020a). Com o passar dos anos, o produto foi ganhando cada vez mais aceitação pelos consumidores, devido ao seu preparo fácil, rápido, custo acessível e pela estabilidade no armazenamento (ABIMAPI, 2020a; GUERREIRO, 2006; MENEGASSI, 2006).

O mercado global de produtos *gluten free* tem crescido significativamente nas últimas décadas e deverá acumular ganhos no valor de quase 8,1 (US\$ bilhões) até 2026 (RESEARCH, 2018). Pensando em atender à essa lacuna de mercado diversas pesquisas vêm buscando usar matérias-primas alternativas e de alto valor nutricional para obtenção de produtos de panificação, como as massas alimentícias (SCHMIELE et al., 2013; ALLEN; ORFILA, 2018; JALGAONKAR; JHA; MAHAWAR, 2018; EL-SOHAIFY et al., 2020a). Neste aspecto, o uso de grãos de cereais, como o milho e de pulses (leguminosas secas), como o grão-de-bico, pode ser um diferencial.

O milho é um cereal ancestral com características desejáveis na dieta humana. É rico em proteínas, fibras e outros nutrientes em menores proporções (DIAS-MARTINS et al., 2018). Por ser uma planta com características de resistência à estiagem, boa produtividade mesmo em solos mais pobres, o milho torna-se um cereal bem adaptado às diversas regiões do Brasil, se tornando uma matéria-prima com boa disponibilidade de fornecimento (EMBRAPA, 2016). Embora apresente alto teor de fibras, proteínas e minerais (ANNOR et al., 2015), o milho, assim como os demais cereais, é limitante em lisina (aminoácido essencial). Assim a associação do cereal com outro produto agrícola não limitante em lisina, como as leguminosas, pode ser um diferencial no desenvolvimento de produtos (SILVA et al., 2017). Entre as leguminosas mais estudadas estão a soja e, mais recentemente, os pulses (DE MESA et al., 2009; ARRIBAS et al., 2019; FÉLIX-MEDINA et al., 2020). Pulse é o nome dado às sementes secas de leguminosas utilizadas na alimentação. No Brasil, os pulses são representadas principalmente pelos feijões, grão-de-bico, lentilha e ervilha (IBRAFE, 2019). O grão-de-bico é fonte de vitaminas, minerais e fibras. Fornece uma variedade de benefícios para a saúde, como melhora da digestão, ajuda no controle do peso e redução do risco de várias doenças como diabetes, doenças cardíacas e câncer (SHI et al., 2004; JUKANTI et al., 2012; YANG et al., 2013).

A tecnologia utilizada para se obter a massa alimentícia é a extrusão. Na produção convencional (extrusão a frio) as matérias-primas são misturadas e, a seguir, entram no cilindro do extrusor onde a temperatura se encontra em torno de 50°C, onde a massa é formada e moldada (GUERREIRO, 2006). Além da extrusão convencional, há um outro tipo de extrusão que tem a finalidade de promover a gelatinização do amido onde ocorre a ruptura de regiões cristalinas no grânulo, seguida pela perda de integridade, denominada extrusão termoplástica, que se utiliza de

temperaturas acima dos 100°C. Neste trabalho foi feito o uso das duas extrusões para obtenção das massas alimentícias isentas de glúten, a extrusão termoplástica para gelatinização do amido e a extrusão a frio para mistura e modelagem do produto final (LOPES-DA-SILVA; SANTOS; CHOUPINA, 2015; FELLOWS, 2017).

Os produtos sem glúten, em sua maioria, são inferiores em qualidades nutricionais, tecnológicas e sensoriais aos produtos similares isentos de glúten. A adição de enzimas, como a transglutaminase, tem melhorado os aspectos tecnológicos e sensoriais desses produtos visto que forma ligações cruzada entre resíduos de lisina e de glutamina formando uma ligação ϵ -(γ -glutamil)-lisina que resulta na criação de uma rede proteica estável que mimetiza a rede de glúten. Essa rede proteica estável tem um papel importante nas massas alimentícias isentas de glúten pois auxilia na redução da perda de sólidos em água e na melhoria da textura do produto (GUSMÃO et al., 2019; DONGHONG et al., 2020; SILVA et al., 2020).

O objetivo do trabalho foi desenvolver uma massa alimentícia isenta de glúten, com boa qualidade nutricional e tecnológica à base de milho e grão-de-bico com maior teor de proteínas que produtos similares isentos de glúten disponíveis comercialmente.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

CAPÍTULO I

O capítulo I apresenta uma revisão da literatura sobre a doença celíaca, o mercado de produtos sem glúten, massas alimentícias e produção de massas alimentícias sem glúten com utilização de cereais e leguminosas.

CAPÍTULO II

O capítulo II, intitulado de “Material e Métodos”, teve como objetivo descrever todas as metodologias utilizadas no projeto de forma mais detalhada, descritiva, afim de facilitar ao leitor o entendimento de todas as etapas empregadas bem como seus equipamentos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

CAPÍTULO III

O capítulo III, intitulado de “O efeito da transglutaminase em massas alimentícias integrais sem glúten à base de farinha pré-cozida por extrusão de milheto (*pennisetum glaucum*) e de grão-de-bico”, teve como objetivo avaliar o desempenho tecnológico e nutricional, do uso de farinhas extrudadas de milheto e grão-de-bico para o desenvolvimento de massas alimentícias sem glúten e adição da enzima transglutaminase com o objetivo de melhorar as texturais das massas alimentícias produzidas. Este capítulo foi submetido para publicação na revista Journal of the Science of Food and Agriculture, na forma de “research paper”.

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

1.1 Doença Celíaca E Outras Desordens Relacionadas Ao Trigo

A doença celíaca é definida como uma enteropatia crônica do intestino delgado imunomediada causada pela ingestão de glúten do trigo, centeio e cevada em indivíduos geneticamente predispostos, ou seja, é uma doença onde as próprias células de defesa imunológicas do indivíduo atacam as células do organismo (Figura 1), tendo como reação o desencadeamento de reação inflamatória em pessoas predispostas (DALE; BIESIEKIERSKI; LIED, 2019). Trata-se de uma doença que, para sua manifestação, conta com a interação de fatores ambientais, onde o indivíduo é exposto ao glúten, a predisposição genética onde esses indivíduos têm a presença de haplótipos (segmentos do DNA herdado em conjunto dos pais) do tipo HLA-DQ2 e/ou DQ8 e a resposta imunológica (CECILIO; BONATTO, 2015).

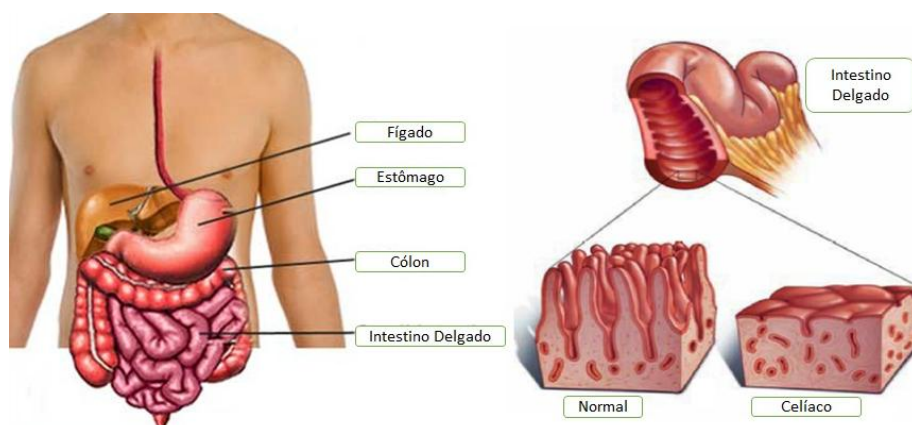


Figura 1. A doença Celíaca atinge o intestino delgado, atrofiando as vilosidades intestinais.
Fonte: Google

Atualmente estima-se que o percentual de pacientes celíacos seja em torno de 1% da população mundial, sendo mais expressivos em populações europeias e norte americanas (RALBOVSKY; LEDNEV, 2021). Segundo estimativa da Federação Nacional das Associações de Celíacos do Brasil (FENACELBRA), a doença celíaca atualmente afeta em torno de 2 milhões de pessoas em nosso país, sendo que a maioria ainda está sem diagnóstico (FENACELBRA, 2020).

O mecanismo de ação do glúten no trato digestivo do portador de doença celíaca pode ser visto na Figura 2. O glúten ingerido sofre a ação de enzimas digestivas interluminais, as endopeptidases, formando um peptídeo estável que vai ser absorvido intacto. É então na lâmina própria que esse peptídeo irá sofrer a ação da transglutaminase tecidual presente na mucosa intestinal, onde a enzima irá retirar o radical amino da molécula de glutamina que irá ser transformado em ácido glutâmico. Tal molécula possui grande afinidade aos antígenos leucócitos (HLA DQ2 e DQ8), onde então essas moléculas apresentarão o antígeno aos linfócitos, desencadeando toda a resposta inflamatória (KOEHLER; WIESER; SCHERF, 2015).

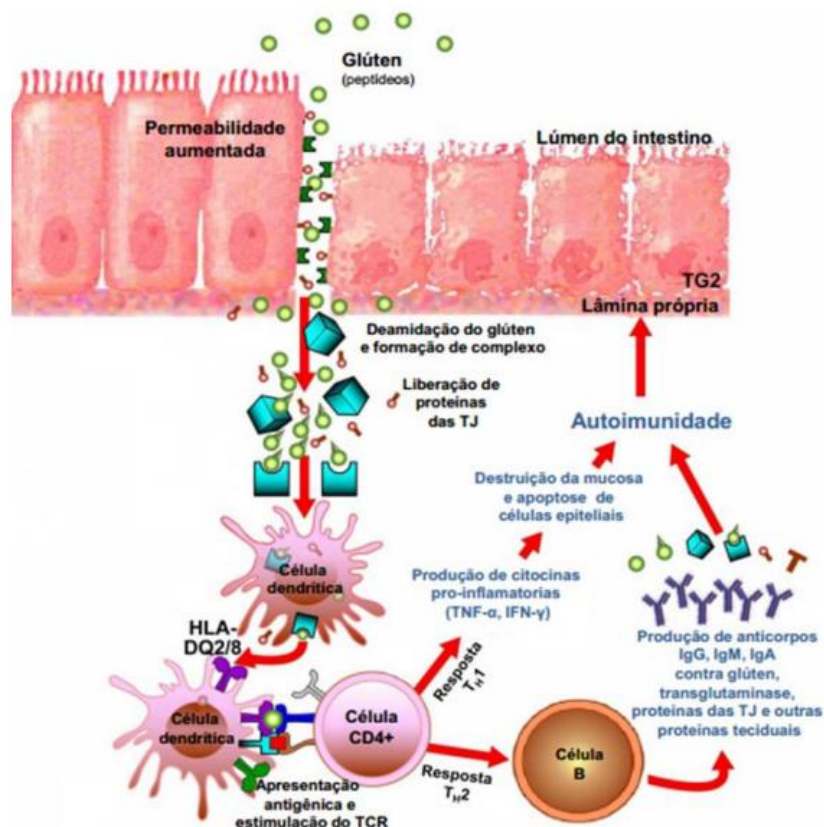


Figura 2. Processo imunológico envolvido na doença celíaca. Adaptado de (CAIO et al., 2019)

A alergia ao trigo, assim como a doença celíaca, são manifestações imunológicas, mas, diferentemente desta última, a alergia ao trigo possui relação com outros tipos de anticorpos e, desde que o alérgeno já tenha sido exposto à proteína mediada pelo trigo, como via aleitamento que é muito comum (o aleitamento materno expõe o lactente a algumas frações dessas proteínas assimiladas no leite), a reação pode ocorrer logo na primeira ingestão. Isso se dá porque, para que haja a reação alérgica, é necessário que o portador tenha passado pela sensibilização que é a produção do anticorpo IgE, para que em seguida manifeste os sintomas. Enquanto nos celíacos os causadores dos sintomas e manifestações são provenientes dos anticorpos IgA e IgG. Os sintomas mais frequentes apresentados por portadores de alergias ao trigo são o desencadeamento de problemas respiratórios e dermatites (SCHERF, 2019).

A sensibilidade não celíaca ao glúten é outra desordem relacionada ao glúten, mas ainda não muito estudada, havendo muitos impasses médicos quanto aos tipos de tratamentos. Seu diagnóstico é realizado apenas por exclusão. Quando se tem a negativa em todos os exames comprobatórios da doença celíaca e todos os sintomas e reações de quadro celíaco se mantêm, então conclui-se ser a sensibilidade não celíaca ao glúten e, assim como o celíaco, recomenda-se a exclusão do glúten da dieta (FERREIRA; INÁCIO, 2018).

Quanto à doença celíaca, o diagnóstico é possível em todas as idades, porém, cerca de 20% dos pacientes só recebem o diagnóstico de portador de doença celíaca após completar 60 anos (DOSTALOVA et al., 2014). Normalmente a doença celíaca se manifesta em crianças com até um ano de idade, quando começam a ingerir alimentos que contenham glúten. Para que haja um diagnóstico confiável e correto é necessário que o paciente esteja em uma dieta com a presença do glúten (FASANO et al., 2008; SILVA; FURLANETTO, 2010).

1.2 Massas Alimentícias

As massas alimentícias são produtos alimentícios à base de cereais mais vendidos do mundo, perdendo apenas para os pães (BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). Dentre os países, a Itália se destaca como o país de maior número em vendas de massas secas chegando a 1,321 milhão de toneladas em 2019, seguido da Rússia e dos Estados Unidos (ABIMAPI, 2020b).

Embora o Brasil esteja entre um dos maiores produtores mundiais de massa alimentícia, o brasileiro ainda não pertence ao grupo de maiores consumidores. O consumo médio per capita está em torno de 4 kg ao ano, enquanto o consumo em países mais tradicionais, como a Itália, os valores atingem cerca de 25 kg ao ano por habitante. No ranking mundial o Brasil ocupa o posto de 15º país consumidor (ABIMAPI, 2020a).

Historicamente foi encontrado massa alimentícia em sítio arqueológico no noroeste da China em torno de 4000 anos atrás. Na tigela encontrada havia sedimentos de gramíneas com características semelhantes a milho e outros tipos de milheto (LU et al., 2005). Mas foi no século XVIII, no sul da Itália, que a massa se apresentou como uma grande novidade com as melhorias do processo de secagem, se aproximando ao que temos nos dias atuais (SISSONS, 2016; ABIMAPI, 2020a). No Brasil, o macarrão foi trazido pelos imigrantes italianos em 1870, que se instalaram no sul e sudeste do país, promovendo assim a cultura do trigo, a construção de moinhos e a fundação da indústria nacional de massas (AMBIEDO, 2018).

1.2.1 Definição de massas alimentícias

Massa alimentícia é definida pela RDC Nº 93 (ANVISA, 2000) como o produto não fermentado, apresentado sob várias formas, recheado ou não, obtido pelo empasto, amassamento mecânico da mistura de farinha de trigo ou sêmola de trigo durum, e/ou farinha de outros vegetais, adicionado ou não de outros ingredientes e acompanhado ou não de temperos e/ou complementos, isoladamente ou adicionados diretamente à massa. Podem ser classificadas através do seu teor de umidade em massas secas que são os produtos submetidos ao processo de secagem tendo a umidade final máxima de 13 g/100 g e massas frescas, que são os produtos não submetidos à secagem ou apenas uma secagem parcial e que apresenta umidade final máxima de 35 g/100 g. Há também as massas desidratadas por fritura, que são os macarrões instantâneos, onde o produto é submetido a processo de cozimento e de secagem por fritura, de forma que o produto final apresente umidade máxima de 10 g/100 g. As massas também podem ser classificadas quanto à sua composição em massas alimentícias comuns, produzidas a partir de farinha de trigo, sêmola/semolina de trigo ou sêmola/semolina de trigo durum, massas alimentícias integrais, produzidas a partir de farinha de trigo e farinha de trigo integral, massas recheadas onde a massa é preparada contendo recheios e massas alimentícias de outros vegetais que são os produtos produzidos a partir de farinhas e/ou derivados de outros vegetais, excetuando-se o trigo (GUERREIRO, 2006; ABIMAPI, 2020a; ANVISA, 2020).

Uma massa de boa qualidade deve ter um aspecto uniforme e semitransparente e ser dura. O aroma e o sabor devem ser característicos de massa não fermentada. A massa quando colocada na água não deverá turvá-la antes de ficar cozida e não poderá estar fermentada ou rançosa (El-Dash et al., 1994). O processamento das massas alimentícias consiste basicamente nas etapas de mistura, do amassamento, da moldagem e da secagem. A moldagem da massa pode ser feita por meio da trefilação ou da laminação, dependendo do tipo de produto desejado e dos equipamentos disponíveis. Para massas secas, normalmente, o processo de trefilação é mais usado, enquanto que as massas frescas, normalmente, utiliza-se o processo de laminação (SÁVIO; PEREIRA, 2015).

1.2.2 Massas Alimentícias Isentas Glúten

Quando se pensa em produção de massas alimentícias, a qualidade tecnológica é algo prioritário a ser avaliado. O trigo é o cereal que alcança o mais alto padrão para a produção de

massas alimentícias. Com ele é possível obter três características desejáveis no produto final: perda de sólidos solúveis que não exceda 6%, ganho de peso em dobro após o cozimento e aumento em duas ou três vezes o volume da massa (SCHMIELE et al., 2013).

A elaboração de massas alimentícias sem glúten, devido à ausência da rede de glúten, é um grande desafio. Frequentemente os produtos não atendem aos padrões desejados de textura e aparência. A textura se torna mais extensível e coesa em comparação com os similares contendo glúten, além disso, a massa não tolera cozimento excessivo, é pegajosa, e, acima de tudo, é caracterizada por perdas culinárias relevantes. Portanto, muitos estudos têm tentado melhorar as características das massas alimentícias isentas de glúten buscando melhorar sua textura com o uso de gomas ou enzimas (FERREIRA et al., 2016; BRITES; SCHMIELE; STEEL, 2018). O uso de gomas para melhorar a textura é uma prática comum, porém o consumidor vem demandando por outras alternativas para o desenvolvimento de massas alimentícias isentas de glúten, onde as enzimas vêm ganhando espaço.

A enzima transglutaminase vem encontrando uso crescente em uma ampla variedade de alimentos e tem mostrado grande importância no desenvolvimento de massas alimentícias. Ela possibilita a produção de massas que não usam o trigo como matéria prima, além de melhorar suas características tecnológicas (KOVÁCS, 2005). Diversos trabalhos vêm mostrando a possibilidade de produzir massas alimentícias isentas de glúten e com características nutricionais mais interessantes com o uso da enzima (KOVÁCS, 2005; TAKÁCS et al., 2007; KIM et al., 2014; OJUKWU; TAN; EASA, 2020).

Outra possibilidade para melhorar a qualidade tecnológica de massas alimentícias isentas de glúten é pelo uso de farinhas proteicas. Isto porque as proteínas presentes nas farinhas são capazes de formar uma estrutura semelhante à do glúten, mimetizando sua ação no produto (ORMENESE; CHANG, 2002). Aliado à isto, os produtos isentos de glúten adicionados de farinha proteica, ao contrário das massas produzidas com farinha refinada e amido, possuem maior valor nutricional (THOMPSON et al., 2005), sendo adequadas para serem ofertadas ao consumidor. AWOLU (2017) mostraram que uma farinha composta de farinha de milheto juntamente com a farinha de uma leguminosa como feijão poderia servir além de uma alternativa viável tecnológica também nutritiva à farinha de trigo na produção de pães.

1.3 Extrusão De Alimentos

A extrusão aplicada a área de alimentos é classificada em dois tipos: extrusão a quente e a frio (FELLOWS, 2006). Extrusões a frio, com temperaturas de cerca de 50 °C no produto (HAUCK, 1993), é empregada para moldagem de massas alimentícias e no processamento de produtos cárneos e de gomas. FELLOWS (2017) considera ainda como extrusão a frio o emprego de temperaturas intermediárias, da ordem de 80 °C, como as que são usadas no processamento de massas em panificação ou de rações para animais. Essa extrusão é a mais convencional para a produção de massas alimentícias, pois, gera um baixo cisalhamento na massa. Na extrusão a quente, também denominada de extrusão termoplástica, é aplicado calor, de modo a obter altas temperaturas no canhão, na faixa 100-180 °C (HAUCK, 1993), podendo chegar aos 200 °C, conferindo temperatura no produto de cerca de 150 °C. Na extrusão termoplástica, os nutrientes sofrem reações bioquímicas sob a ação de altas temperaturas e força de cisalhamento, ocorre a gelatinização do amido, a desnaturação de proteínas, a oxidação de lipídios e a degradação de vitaminas (SINGH; GAMLATH; WAKELING, 2007; ALAM et al., 2016). É realizada com o intuito de cozedura de materiais, geralmente amiláceos e/ou proteicos, processados com a finalidade de obtenção de uma massa plástica viscosa (HARPER, 1979; FELLOWS, 2017). Em geral, os extrusores possuem cinco partes essenciais (Figura 3): o alimentador, os parafusos, o cilindro, a matriz e o mecanismo de corte. No alimentador, a farinha é depositada e segue por um parafuso de alimentação até o canhão da extrusora, onde existe um parafuso ou rosca (no caso de extrusores de roscas simples) ou dois parafusos se for extrusor de dupla-roscas. Os parafusos ou roscas giram conduzindo o material que está sendo extrusado até a saída da matriz. Nesta etapa

ocorrem o cozimento e modificação da estrutura do material por aplicação de calor (no caso de extrusão termoplástica) na presença de umidade e pela geração de pressão. O cilindro de um extrusor pode ser constituído de seções, ou de uma única peça. Ao final do cilindro ou canhão está a matriz que tem como funcionalidade moldar o produto, restringir o fluxo e, conseqüentemente, aumentar a pressão na zona de cozimento para permitir a expansão do produto (Figura 4). Diferente do que acontece na extrusão a quente, na extrusão a frio o canhão não é aquecido e o material não é expandido na matriz, sendo apenas formatado (SINGH; HELDMAN, 2014).

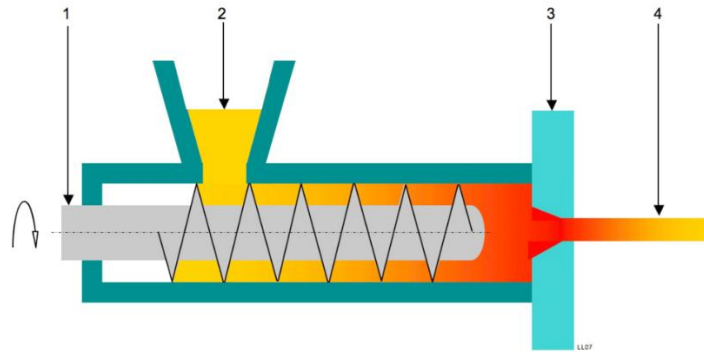


Figura 3.. Esquema de extrusora de rosca simples. Cilindro e parafuso ou rosca simples (1), alimentador (2), matriz (3) e saída (4). (Google images)

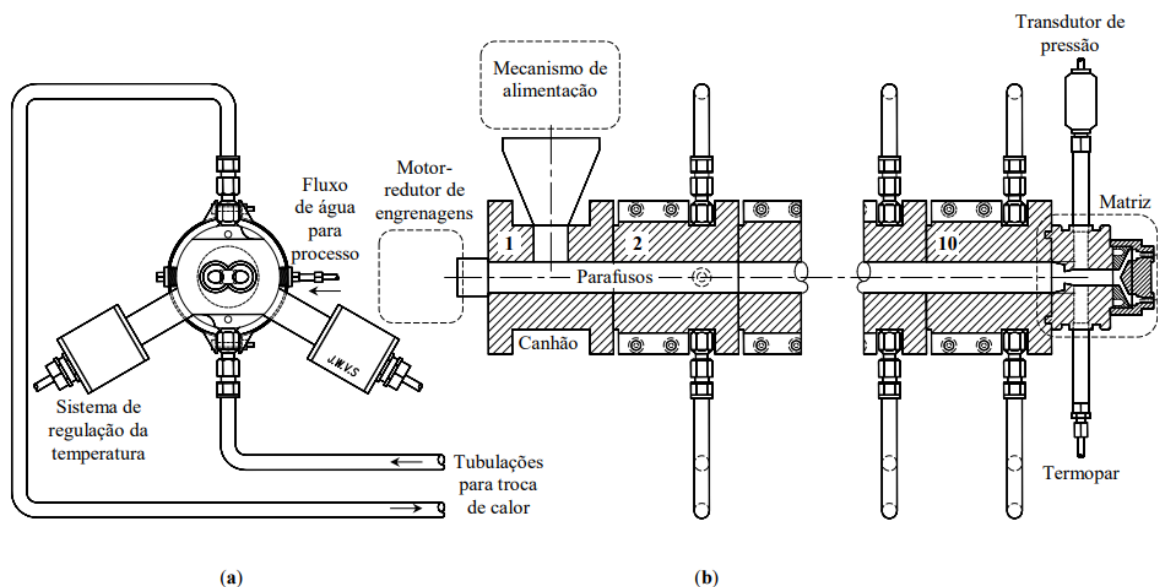


Figura 4. Esquema do extrusor de duplo parafuso Clextal Evolum HT25: (a) vista frontal, (b) vista lateral esquerda. (1) módulo de alimentação GG1, (2) até (10), módulos fechados FER.(VARGAS-SOLÓRZANO, 2013)

1.4 Alimentos Integrais: Definições E Importância Na Alimentação Saudável

Como consequência do alto consumo de produtos processados e a comprovação das suas implicações negativas a saúde, surgem interesses e ações voltadas à promoção da alimentação mais saudável, entre elas a recomendação de consumo de alimentos integrais. Entre esses movimentos, encontra-se, como exemplo, a nível internacional, a Estratégia Global em Alimentação Saudável, Atividade Física e Saúde e a nível nacional, as duas versões do GAPB de

2008 e 2014 (BRASIL. SAÚDE, 2008, 2014). O último GAPB traz recomendações para a adoção de uma alimentação saudável e redução no consumo de alimentos processados, como arroz integral, pães integrais ou outras preparações elaboradas com farinhas integrais (BRASIL. SAÚDE, 2014). Segundo a Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) alimentos integrais são alimentos não transformados e não refinados, ou processados e refinados tão pouco quanto possível, antes de serem consumidos (BVS, 2020). Podendo ser definido também como qualquer alimento que usa todas as partes do cereal, incluindo as camadas externas, como farelo e gérmen, independentemente de o cereal estar inteiro ou moído em pedaços menores (FSANZ, 2016). No Glossário Temático de Alimentação e Nutrição, do Ministério da Saúde, alimento integral é definido como alimento pouco ou não processado que mantém em perfeitas condições o conteúdo de fibras e nutrientes (BRASIL, 2013).

O termo integral pode ser utilizado como forma de marketing pelo setor produtivo para associar a saudabilidade, isso pode representar um problema em potencial, visto que os consumidores possuem baixo nível de conhecimento sobre esses alimentos, especialmente em razão da ausência de iniciativas sistemáticas e articuladas para orientar o consumidor sobre o tema (BRASIL, 2018). Uma pesquisa realizada, em 2016, pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC), para avaliar quatorze marcas de biscoitos integrais, mostrou que apenas três dos produtos avaliados continham farinha de trigo integral ou cereal como principal ingrediente; seis biscoitos continham mais farinha refinada do que integral e cinco sequer tinham farinha integral ou cereais integrais em sua composição (IDEC, 2016)(IDEC, 2016). Assim, os resultados obtidos nas pesquisas realizadas mostram que a ausência de critérios para regulamentação dos produtos integrais pode confundir o consumidor, caracterizando falha de mercado, na qual a assimetria de informações entre fabricantes e consumidores pode induzir ao erro ou ao engano quanto à verdadeira característica do produto e influenciar escolhas alimentares de forma equivocada (IDEC, 2017; BRASIL, 2018). Apesar de não haver um consenso sobre a definição de alimentos integrais, é importante distinguir entre cereais integrais e alimentos integrais. O conceito de cereal integral refere-se ao grão inteiro em si, enquanto os alimentos integrais são alimentos que contêm esses cereais integrais. Ainda, o uso dos termos “grão, cereal, grão de cereal e grãos integrais” variam significativamente dependendo do país e do grupo que se refere ao cereal, podendo variar entre a comunidade científica e os consumidores (FRØLICH, WENCHE; ÅMAN, PER; TETENS, 2013; MATHEWS, REBECCA; CHU, 2020)

As diretrizes dietéticas de vários países, baseadas em evidências científicas, sugerem que o aumento no consumo de cereais integrais pode estar associado ao risco reduzido de doenças crônicas relacionadas à alimentação (FRØLICH, WENCHE; ÅMAN, PER; TETENS, 2013; SWEDEN, 2015). O consumo de cereais integrais e alimentos integrais possuem efeitos benéficos para a saúde, sendo associados à redução do risco do desenvolvimento de vários tipos de câncer, como os do trato gastrointestinal, diabetes mellitus tipo 2, síndrome metabólica e doenças cardiovasculares (FRØLICH, WENCHE; ÅMAN, PER; TETENS, 2013; U.S., 2015).

A literatura aponta que os alimentos integrais contêm mais micronutrientes e fitoquímicos em comparação aos refinados (VIOLETTE et al, 2016). O refinamento dos alimentos, normalmente, é realizado por processos químicos ou físicos. Cereais integrais são fontes tanto de fibras solúveis quanto de fibras insolúveis e essas se concentram no farelo. As fibras são definidas como partes comestíveis de plantas ou carboidratos análogos, resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano, com fermentação completa ou parcial no intestino grosso, estando incluídos os polissacarídeos, oligossacarídeos, lignina e substâncias vegetais associadas (AACC., 2000). Elas estimulam a função do trato gastrointestinal, promovendo maior saciedade e reduzindo o risco de constipação intestinal, hemorroidas e alguns tipos de câncer; melhoram os níveis de lipídios no sangue, e estão associadas a um menor peso corporal (SWEDEN, 2015). Os cereais integrais também são naturalmente pobres em gordura saturada e contêm ácidos graxos poli-insaturados. Alguns dos efeitos benéficos dos cereais integrais para a saúde são atribuídos ao conteúdo de fitoquímicos bioativos. Esses fitoquímicos

incluem as lignanas, que podem reduzir o risco de doença coronariana; o ácido fítico, que reduz o índice glicêmico (IG) dos alimentos; as saponinas, fitoesteróis, esqualeno, orizanol e tocotrienóis que reduzem o colesterol no sangue; e os compostos fenólicos que possuem efeitos antioxidantes. O conteúdo fenólico e as capacidades antioxidantes dos cereais integrais podem estar relacionados às tecnologias de processamento adotadas, logo, métodos apropriados devem ser selecionados para reter o máximo de nutrientes possíveis (ADIL GANI ; WANI, 2012). Como já citado anteriormente, o cereal integral consiste em farelo, endosperma e gérmen. O farelo e o gérmen contêm vários nutrientes e fitoquímicos, enquanto o endosperma é constituído, sobretudo, de proteína e amido, fornecendo principalmente energia. O cereal refinado contém apenas o endosperma e, portanto, fornece menos nutrientes e fitoquímicos do que o cereal integral, os alimentos com cereais refinados têm a maior parte ou todo o farelo e o gérmen removidos, deixando apenas o endosperma. Nesse processo, a maior parte das fibras e muitas das vitaminas, minerais e fitoquímicos são perdidos (TAN, BIN; WU, NA-NA; ZHAI, 2020).

1.5 Cereais

Os cereais são qualquer fruto ou semente comestível pertencentes à família das gramíneas (Família Poaceae). São herbáceas que apresentam flores muito pequenas e frutos secos chamados grãos ou “cariopses”. O grão é dividido em três partes: o gérmen, o endosperma e o pericarpo. Alguns apresentam a cariopse vestida (casca) como o arroz, aveia e o sorgo enquanto outros, como o milho, trigo e centeio têm cariopse nua (sem casca) (WRIGLEY, 2019).

Os cereais são consumidos pelo homem há milhares de anos e desempenham um papel importante na nossa dieta como principal fonte de energia. São um dos alimentos mais produzidos em todo o mundo; 2,765 bilhões de toneladas, sendo o trigo, o arroz e o milho as principais culturas (FAO, 2020). O Brasil é o sexto maior produtor mundial de cereais produzindo no ano de 2019 cerca de 122 milhões de toneladas (3% da produção mundial). As principais culturas brasileiras são o trigo (5,2 milhões de toneladas), o milho (93,3 milhões de toneladas) e o arroz (10,4 milhões de toneladas) (FAOSTAT, 2020). Os cereais são grandes fontes de carboidratos e a principal fonte de energia consumida pelos seres humanos. Tem em sua composição em média 12-13% de umidade, 9-13% de proteína, 2,5- 3,8% de lipídios, 0,5-2% de fibras e 1-3% de minerais (WRIGLEY, 2019; EMBRAPA, 2020).

Os cereais são a base da nossa alimentação. Ao longo dos anos, os produtos de cereais refinados tomaram grande parte das prateleiras e do gosto dos consumidores. Porém, a busca por produtos mais próximos a in natura tem sido crescente, impulsionada pelos inúmeros benefícios à saúde devido a preservação de diversos nutrientes e compostos bioativos. É dentro deste contexto que se inserem os cereais integrais, pois, por não sofrerem a remoção das partes externas do grão, preservam altas concentrações de fibras, proteínas, minerais e vitaminas (WOOMER; ADEDEJI, 2020).

1.5.1 Milheto

Milheto é o sexto cereal mais produzido no mundo. Milheto é uma denominação coletiva que se refere a uma série de grãos pertencentes à família Poaceae. São culturas anuais com sementes pequenas que são cultivadas como grãos (PEREIRA FILHO et al., 2003). Dentre as muitas espécies de milheto, as quatro principais cultivadas mundialmente são: milheto pérola (*Pennisetum glaucum*), que representa 40% de toda a produção mundial de milheto, milheto rabo de raposa (*Setaria italica*), milheto proso (*Panicum miliaceum*) e o capim-pé-de-galinha-gigante ou finger millet (*Eleusine coracana*) (AMADOU et al. , 2011).

Na alimentação humana, o milheto é bastante conhecido no continente africano para produção de mingau, cuscuz, massas e até bebidas alcólicas e não alcólicas. Na Ásia, mais

especificamente na Índia, o milho é utilizado para a fabricação de pães (pães sírios) (TAYLOR, 2015; DIAS-MARTINS et al., 2018).

No Brasil, o milho foi introduzido há mais de 50 anos sendo amplamente usado como cobertura verde e na alimentação animal, sendo mais rico em nutrientes que outras fontes de alimentação como milho e sorgo. Trata-se de uma cultura resistente, não é exigente em nutrientes e que se adapta bem às regiões que sofrem com estiagem, solos mais pobres e com problemas de salinidade, isso devido a profundidade que suas raízes podem alcançar extraindo água e nutrientes das partes mais profundas do solo. Todos estes fatores contribuem para uma produção que não exige grandes investimentos financeiros, tornando o milho uma cultura mais sustentável (PEREIRA FILHO et al., 2003; DIAS MARTINS, 2019). De acordo com a época de plantio, a produção pode variar de 1.568 kg/ha a 2.452 kg/ha (PEREIRA FILHO et al., 2003).

Embora existam muitas variações de milho, suas estruturas são praticamente iguais. O milho, assim como os demais cereais, é composto de pericarpo, endosperma e germe (Figura 4). O pericarpo é a camada mais externa que envolve o endosperma e o germe da semente tendo uma função protetora. Dependendo da variedade pode ter diferentes espessuras e é composto de três camadas: o epicarpo, o mesocarpo e o endocarpo. Os grãos se apresentam de forma ovoides, tem até 2 mm de comprimento (TAYLOR, 2015). O endosperma é composto pelo endosperma farináceo, o mais interno e o endosperma vítreo, mais externo e a camada de aleurona. O endosperma amiláceo é o maior componente do grão e consiste em partes farináceas e vítreas. No germe encontra-se o embrião e o escutelo. O germe do milho se caracteriza por ser maior do que o da maioria de outros cereais, tendo assim um endosperma menor (AKANBI; TIMILSENA; DHITAL, 2019).

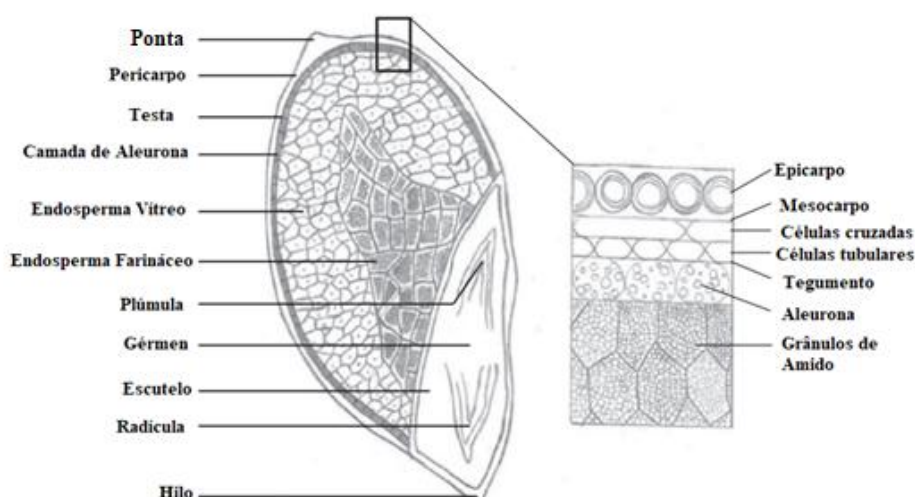


Figura 5.Diagrama esquemático mostrando a estrutura do grão de milho. Adaptado de TAYLOR, 2015.

O milho (*Pennisetum glaucum*) contém quantidades significativas de aminoácidos essenciais, particularmente aminoácidos contendo enxofre (metionina e cisteína). O milho é 40% mais rico em lisina e metionina e 30% mais rico em treonina do que o milho (OSMAN, 2011). Pode conter 6% a 15% de proteínas e 1% a 4% de minerais (AMADOU et al., 2011). Contém alto teor de amido (65-70%) e fibra alimentar (7 a 10%) que é composta em sua maioria de polissacarídeos não amiláceos (95%), derivado não só da porção de farelo, mas também das paredes celulares do endosperma (SERNA-SALDIVAR; ESPINOSA-RAMÍREZ, 2018).

DIAS-MARTINS et al. (2018) apresentaram um comparativo dos percentuais de macronutrientes presentes no milho em relação a outros cereais amplamente consumidos. O teor médio de carboidratos nos grãos de milho foi inferior (72%) ao do arroz (85%), milho (78%) e superior ao do trigo (69%). O teor médio de fibra alimentar do milho foi de 7,8%,

sendo superior ao do arroz (3,5%) e similar ao do milho (8,1%). Por outro lado, apresenta menor teor de fibra alimentar quando comparado ao centeio (16,8%), cevada (14,5%) e aveia (11,8%). O milheto possui um teor proteico médio de 13%, sendo metade das proteínas totais do grão é prolamina e estas são de quatro tipos; alfa, beta, gama e delta-prolaminas (MUTHAMILARASAN et al., 2015; TAYLOR, 2015).

O milheto possui em torno de 65% de amido, sendo rico em amido resistente e amido de baixa digestibilidade, que resistem à digestão e são catabolizados pela microbiota intestinal resultando em liberação lenta e constante de glicose na corrente sanguínea (MUTHAMILARASAN et al., 2015; TAYLOR, 2015).

É excelente fonte de lipídeos e os principais ácidos graxos são o ácido linoleico (39-45%), ácido oleico (21-27%) e ácido palmítico (20-21%) (DIAS-MARTINS et al., 2018). Porém, essa alta concentração de lipídeos também pode representar fatores negativos quando se trata da utilização do milheto para produção de farinhas, já que os ácidos graxos sofrem rancidez oxidativa (TIWARI et al., 2014).

O milheto pode se apresentar como fonte de vitamina B (exceto a B12), em especial a B3, que se concentra na camada de aleurona e no germe. A niacina do milheto está associada, por ligação covalente, à polissacarídeos e proteínas, sendo chamada niacitina (DE MARIA; MOREIRA, 2011).

Fósforo e potássio são os minerais mais presentes no milheto. A maior concentração está no pericarpo, na camada de aleurona e no germe. Os grãos integrais podem ser também uma fonte adequada de minerais essenciais como magnésio, ferro, zinco e cobre, mas a biodisponibilidade é geralmente baixa devido à presença de fatores antinutricionais. Por se concentrarem na camada mais externa do grão, o conteúdo de minerais pode ser drasticamente afetado pelo processamento a que é submetido (TAYLOR, 2015; SERNA-SALDIVAR; ESPINOSA-RAMÍREZ, 2018).

Estudos demonstraram que o milheto integral e seu farelo são fontes ricas em compostos fenólicos. Entre os ácidos fenólicos, os ácidos ferúlico e cumárico são predominantes nos grãos de milheto (CHANDRASEKARA; SHAHIDI, 2011; N'DRI et al., 2013). Em geral, os fenólicos não são distribuídos uniformemente no grão, sendo encontrados principalmente no pericarpo, o que confirma os benefícios associados ao seu consumo na forma integral (CHANDRASEKARA; SHAHIDI, 2011).

Os principais compostos antinutricionais encontrados no milheto são o ácido fítico e as C-glicosilflavonas, como apigenina, glucosilvitexina, glucosilorientina e vitexina (TAYLOR, 2015). Alguns estudos têm mostrado evidências de que a presença de C-glicosilflavonas em alimentos pode promover a inibição da peroxidase tireoidiana (TPO), uma enzima produzida pela glândula tireoide (GAITAN et al., 1989; MEZZOMO; NADAL, 2016). Assim, sugere-se que grãos de milheto sejam submetidos ao processamento promovendo a redução de fatores antinutricionais para o consumo seguro do grão (BRAHMBHATT et al., 2001).

1.6 Pulses

Os pulses pertencem à família Leguminosae (ou Fabaceae) que possui mais de 13.000 diferentes espécies, conhecidas como leguminosas, representando um alimento básico mundial. As leguminosas, depois dos cereais, estão entre as safras mais economicamente importantes, representando cerca de 15% das terras cultivadas no mundo (270 a 300 milhões de hectares). Fornecem à dieta humana proteínas, carboidratos, fibras, minerais, vitaminas e vários compostos bioativos. Além de seu papel na nutrição humana, as leguminosas são importantes na forragem e como culturas rotativas devido à sua capacidade de fixar nitrogênio (REBELLO; GREENWAY; FINLEY, 2014b).

De acordo com a definição da FAO, o termo "pulses" inclui apenas sementes de leguminosas secas comestíveis com baixo teor de gordura. A palavra pulse vem do latim "puls" que significa "sopa grossa", porque produz um caldo espesso. No Brasil, os pulses são

representadas principalmente pelos feijões, grão-de-bico, lentilha e ervilha. Grãos colhidos ainda verdes, colhidos principalmente para fins de extração de óleo como soja e amendoim ou para sementeiras não são consideradas pulses (FAO, 1994a; REBELLO et al., 2014a).

O ano de 2016 foi declarado pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) como o ano internacional dos Pulses. Esse ato teve como objetivo tornar conhecido os benefícios nutricionais e de saúde das leguminosas, sua biodiversidade e adaptação climática, incluída em uma estratégia sustentável de produção de alimentos projetado para alcançar a segurança alimentar e nutrição adequada (FAO, 2016).

Para aumentar a produção e ampliar o potencial de exportação de leguminosas, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) lançou em 2018, o Plano Nacional de Desenvolvimento da Cadeia do Feijão e Pulses, que são a lentilha, grão-de-bico e ervilha. Entre as metas do plano está o aumento do consumo de feijão e pulses. Também constam no estudo, aumento em 20% da produção de diferentes pulses, para abastecimento dos mercados interno e externo. O Plano de Desenvolvimento pretendido, pode ser entendido como um “Start” para a cadeia do Feijão e dos Pulses e o nível de motivação é máximo junto às entidades e aos órgãos que colaboraram para a consolidação do Plano(MAPA, 2018).

1.6.1 Grão-De-Bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) ocupa o segundo lugar na produção mundial de leguminosas perdendo apenas para o feijão (IBRAFE, 2020). É um pulse amplamente consumido no mundo. A produção mundial de grão-de-bico, em 2018, foi de 17,19 milhões de toneladas, o que representa 18,63% da produção total de leguminosas (FAOSTAT, 2019). É uma leguminosa de estação fria cultivada principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde sua produção é restringida por uma série de fatores ambientais, como temperatura, umidade do solo e duração do dia (KNIGHTS; HOBSON, 2015). Suas frações de proteína e amido contribuem para a nutrição e funcionalidades versáteis, como as propriedades de emulsificação. Devido à sua qualidade nutricional o grão-de-bico tem obtido destaque em estudos de desenvolvimento de produtos, com amplo espaço para estudo dos seus compostos bioativos associados ao seu potencial benéfico para a saúde (JUKANTI et al., 2012).

O gênero *Cicer* contém 43 espécies, 34 perenes e 9 anuais. Dois tipos de grão-de-bico são produzidos comercialmente: “cabulis” que têm uma semente fina, branca ou creme e flores brancas, e “desis”, que têm uma camada de sementes espessa, de cor castanha a castanha escura e flores de cor roxa. Cerca de 4000–5000 anos atrás, as formas domesticadas começaram um movimento ao Mediterrâneo, assim, espalharam-se para o sul da Europa e norte da África, incluindo Etiópia. No século XVI, os viajantes espanhóis e portugueses carregaram tipos de cabuli para a América do Sul e Central onde passaram a ser conhecidos pelo nome espanhol “garbanzo” (RICHARDS et al., 2020).

A adição de grão-de-bico em produtos alimentícios acarreta um aumento no teor de proteína que está relacionado diretamente à melhoria na quantidade de aminoácidos essenciais, incluindo lisina. Logicamente, os teores irão variar de acordo com o tipo e quantidade de leguminosa incorporada (SPARVOLI et al., 2016; LALEG et al., 2017). No grão-de-bico, a proteína (15%-30%) é principalmente constituída por globulinas (53-60%), glutelinas (19-25%), albuminas (8-12%) e prolaminas (3-7%). No grão também se encontram níveis elevados de aminoácidos livres, especialmente o glutamato, o aspartato e a arginina. A presença de arginina pode ser considerada de interesse especial devido ao fato deste aminoácido estar implicado na síntese de trifosfato de adenosina (ATP), liberação de cálcio, vasodilatação, processos de neurotransmissão, reprodução celular e imunidade, além de ser um intermediário no ciclo da ureia, onde está envolvido na síntese de óxido nítrico, ornitina e poliaminas. Por outro lado, aminoácidos sulfurados, como a metionina, estão presentes em pequenas quantidades no grão-de-bico (PETITOT et al., 2010; CORTÉS-GIRALDO et al., 2016; BESSADA; BARREIRA; OLIVEIRA, 2019).

O grão-de-bico tem sido cada vez mais adicionado em produtos alimentícios e os estudos vêm mostrando as vantagens nutricionais e tecnológicas associadas ao seu uso. Bebida vegetal à base de grão-de-bico e coco foi desenvolvida por RINCON et al. (2020) que verificaram boa composição nutricional (teores de proteínas, carboidratos, lipídios e cálcio) quando comparada ao leite de vaca e outros substitutos do leite de vaca, como bebidas de aveia, amêndoa e arroz, mostrando que a bebida de grão-de-bico apresenta potencial para ser um excelente substituto do leite de vaca.

DE LIMA; BOTELHO; ZANDONADI (2019) desenvolveram massa alimentícia a base de farinha de grão-de-bico com maiores teores de proteínas (aumento de 53,8%) e fibras alimentares (aumento de 166%) e menores teores de carboidratos (redução de 3,6%) e gorduras totais (diminuição de 37%) em comparação à um produto similar à base de farinha de trigo. O grão-de-bico também tem sido usado no desenvolvimento de produtos cárneos com baixo teor de gordura e de análogos cárneos, conhecidos pelo nome de produtos *plant-based*. Os estudos vêm mostrando que a farinha de grão-de-bico é uma fonte vegetal proteica com potencial uso como extensor em produtos emulsionados (THUSHAN SANJEEWA et al., 2010).

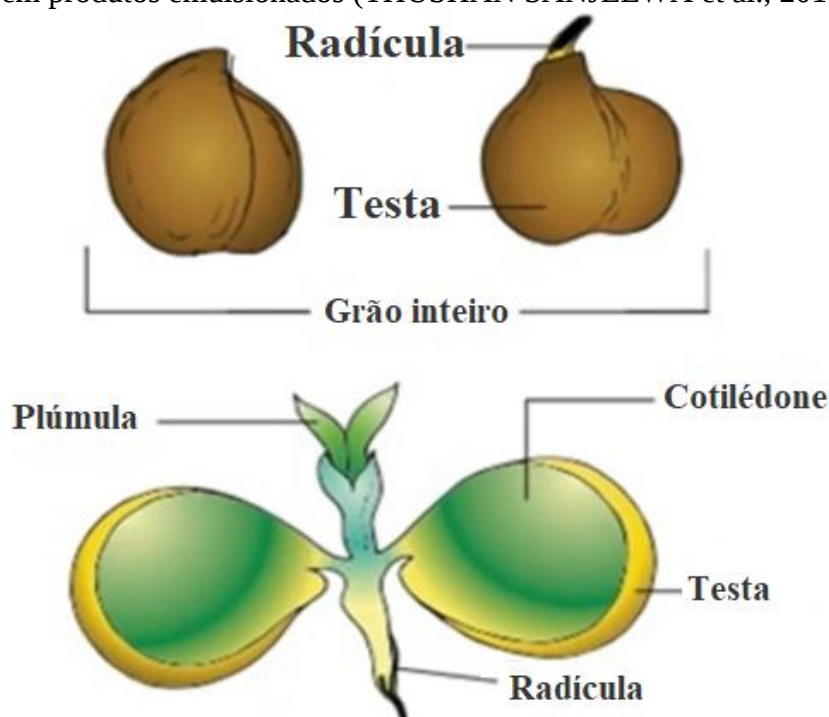


Figura 6. Anatomia do grão-de-bico. Fonte: Brainkart.com

A associação de cereais (deficientes em lisina) e leguminosas (deficientes em metionina), como os pulses, para o desenvolvimento de produtos alimentícios apresenta a vantagem nutricional no balanço dos aminoácidos essenciais. Além disso, incorporar leguminosas em produtos onde usualmente somente os cereais estariam presentes, resulta no aumento do teor de proteínas, fibras e minerais do produto final (MONNET et al., 2019). Adicionalmente ao efeito nutricional, a adição de grão-de-bico também pode melhorar as propriedades tecnológicas dos produtos. Um estudo conduzido por VIVAS (2013) para o desenvolvimento de pães isentos de glúten com proteínas de diferentes fontes vegetais associadas ao amido de milho, mostrou que pães feitos com proteína de grão-de-bico apresentaram texturas mais macias.

1.7 Uso de Enzimas Transglutaminase em Produtos Sem Glúten

Devido aos desafios tecnológicos já comentados na elaboração de produtos isentos de glúten, estudos vêm mostrando que o uso de enzimas que mimetizam a formação de uma rede de glúten parece promissor, entre elas, a transglutaminase merece destaque. A transglutaminase é uma enzima encontrada em mamíferos, plantas, peixes e bactérias. Em cada uma dessas fontes, desempenha papéis fisiológicos diferentes, todos envolvendo reações com proteínas (KIELISZEK; MISIEWICZ, 2014).

As enzimas transglutaminases são classificadas como um tipo de transferase que tem a capacidade de catalisar reações de acil-transferência entre os grupos γ -carboxiamida de resíduos glutamínicos ligados em proteínas ou peptídeos e aminas primárias. O mecanismo pode ser explicado da seguinte forma: o grupo tiol de uma cisteína se junta a cadeia lateral de um resíduo de glutamina acessível no meio proteico. Essa junção forma um complexo acil-enzima e amônia. Seguidamente, uma amina primária entra no lugar da enzima formando uma glutamina carboxamida modificada. Caso a ligação proteica envolva lisina, a ligação cruzada entre peptídeos, intra ou intermolecular, ocorre via N(γ -glutaminil) L-lisina. Essas reações com transglutaminase resultam na formação de agregados proteicos irreversíveis (MACEDO; SATO, 2006; NONAKA; MATSUURA; MOTOKI, 2014).

As transglutaminases possuem vasta utilização na indústria alimentícia. Citando alguns exemplos, é usada para enriquecimento proteico de produtos amiláceos, onde ingredientes proteicos, juntamente com a enzima, são adicionados promovendo não somente mudanças texturais e reológicas mas também nutricionais (RIBOTTA et al., 2012). Tem-se também seu uso em produtos derivados de laticínios onde proporciona modificações texturais e reológicas, assim como em produtos cárneos, e formações de géis proteicos (aplicados a processamento de alimentos e encapsulamento de produtos fármacos e biossensores) (GUO et al., 2012). Na indústria de panificações e massas alimentícias, as transglutaminases são utilizadas com o intuito de ocasionar ligações cruzadas entre as proteínas, o que ajuda na formação de uma rede proteica capaz de proporcionar propriedades viscoelásticas em fontes vegetais isentas de glúten e também permitir o aumento da vida útil das massas (em panificação) congeladas (STEFFOLANI et al., 2012).

Em produtos sem glúten o histórico de sucesso da utilização das enzimas já é bastante evidente. Em massas alimentícias, sua presença também tem se solidificado como coadjuvante importante para melhoria das qualidades tecnológicas e reológicas. Em estudo em massa alimentícia de arroz a utilização de transglutaminase diminuiu a perda de cozimento e a turbidez (KIM et al., 2014). Uma alta taxa de absorção de água, uma baixa perda de cozimento juntamente com melhoria sensorial foram encontrados em massas alimentícias a base de farinha de ervilha adicionadas de transglutaminase (TAKÁCS, 2007). A adição de transglutaminase em massas alimentícias produzidas com feijão fava evitou o inchaço dos grânulos do amido e, portanto, reduziu a absorção de água (ROSA-SIBAKOV et al., 2016). A Tgase evita a deterioração da textura após o cozimento, mesmo quando farinhas de baixo teor são usadas em massas alimentícias (BILGIÇLI; IBANOĞLU, 2015).

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- AACC. AACC Approves New Dietary Fiber Definition. Disponível em: <<https://www.cerealsgrains.org/initiatives/definitions/Documents/DietaryFiber/Fiberpr.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2023.
- ABDALLA, A., MUSTAFA, G. Some Physical and Functional Properties of Grain and Products of Pearl MilSome Physical and Functional Properties of Grain and Products of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.). University of Kordofan Journal of Natural Resources and Environmental Studies, n. 1, p. 47–53, 2014.

ABIMAPI. ABIMAPI | Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/anuario.php>>. Acesso em: 16 out. 2020a.

ABIMAPI. ABIMAPI | Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/estatisticas-massas-alimenticias.php>>. Acesso em: 27 jan. 2021b.

ACELBRA. Associação dos celíacos do Brasil. Disponível em: <<http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

ADIL GANI ; WANI, S. ; M. Compostos bioativos de cereais integrais e seus benefícios à saúde: uma revisão. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/globalhealth/abstract/20133129423>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

AKANBI, T. O.; TIMILSENA, Y.; DHITAL, S. Bioactives from Millet: Properties and Effects of Processing on Bioavailability. In: *Bioactive Factors and Processing Technology for Cereal Foods*. [s.l.] Springer Singapore, 2019. p. 171–183.

ALAM, M. S. et al. Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 56, n. 3, p. 445–473, 17 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2013.779568>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

ALLEN, B.; ORFILA, C. The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta. *Nutrients*, v. 10, n. 10, p. 1370, 25 set. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-6643/10/10/1370>>. Acesso em: 22 set. 2020.

AMADOU ET AL. Millet-based Traditional Processed Foods and Beverages—A Review. *Cereal Foods World*, v. 56, p. 115–121, 2011.

AMBIEDO, F. T. Fábricas de massas alimentícias do imigrante italiano José Pappalardo, Porto Alegre (1932-1968). 2018. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ANDERSON, R.; CONWAY, H.; PFEIFER, VF E GRIFFIN, E. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, v. 14, p. 4–12, 1969.

ANNOR, G. A. et al. Effects of the amount and type of fatty acids present in millets on their in vitro starch digestibility and expected glycemic index (eGI). *Journal of Cereal Science*, v. 64, p. 76–81, 1 jul. 2015.

ANVISA. Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/anexo/anexo_rdc0054_12_11_2012.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2022.

ANVISA. Ministério da Saúde. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0014_21_02_2000.html>. Acesso em: 15 out. 2020.

ARRIBAS, C. et al. Extrusion effect on proximate composition, starch and dietary fibre of ready-to-eat products based on rice fortified with carob fruit and bean. *LWT*, v. 111, p. 387–393, 1 ago. 2019.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C. W. . Apostila do curso anual em processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. p. 100, 2011.

AWOLU, O. O. Optimization of the functional characteristics, pasting and rheological properties of pearl millet-based composite flour. *Heliyon*, v. 3, n. 2, 1 fev. 2017. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28203644/>>. Acesso em: 19 out. 2020.

BASSI, M. A. et al. Effect of Process Parameters on Slowly Digestible and Resistant Starch Content in Extrudates *Nature*, 2020. .

BESSADA, S. M. F.; BARREIRA, J. C. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties *Trends in Food Science and*

TechnologyElsevier Ltd, , 1 nov. 2019. .

BILGIÇLI, N.; IBANOĞLU, S. Effect of milled lupin products and transglutaminase on some properties of noodle. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, v. 7, n. 2, p. 89–95, 31 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.3920/QAS2013.0254>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 7 maio 1976. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/942051/>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

BRAHMBHATT, S. R. et al. Study of biochemical prevalence indicators for the assessment of iodine deficiency disorders in adults at field conditions in Gujarat (India). *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, v. 10, n. 1, p. 51–57, 2001. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11708609/>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

BRASIL. SAÚDE, M. da S. S. de A. à. Guia alimentar para população brasileira: promovendo a alimentação saudável. Brasília: Ministério da Saúde, n. 1, 2008.

BRASIL. SAÚDE, M. da S. S. de A. à. Guia alimentar para a população brasileira. n. 2, 2014.

BRASIL. Glossário temático: alimentação e nutrição. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva., n. 2, 2013.

BRASIL. Alimentos à base de cereais integrais: documento de base para discussão regulatória. Agência de Vigilância Sanitária. Gerência-Geral de Alimentos. AnVISA, 2018.

BRESCIANI, A. et al. Molecular features and cooking behavior of pasta from pulses *Cereal Chemistry*, 2022. .

BRITES, L. T. G. F.; SCHMIELE, M.; STEEL, C. J. Gluten-Free Bakery and Pasta Products. In: *Alternative and Replacement Foods*. [s.l.] Elsevier, 2018. 17p. 385–410.

BRODKORB, A. et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, v. 14, n. 4, p. 991–1014, 2019.

BVS. Alimento integral.

CAIO, G. et al. Celiac disease: A comprehensive current review. *BMC Medicine*, v. 17, n. 1, p. 1–20, 2019.

CARVALHO, C. W. P. et al. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. *Journal of Food Engineering*, v. 98, n. 1, p. 103–109, 1 maio 2010.

CECILIO, L. A.; BONATTO, M. W. THE PREVALENCE OF HLA DQ2 AND DQ8 IN PATIENTS WITH CELIAC DISEASE, IN FAMILY AND IN GENERAL POPULATION
Prevalência do HLA DQ2 e DQ8 em pacientes portadores da doença celíaca, nos seus familiares e na população geral. *ABCD Arq Bras Cir Dig Original Article*, v. 28, n. 3, p. 183–185, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=410480>>. Acesso em: 4 jan. 2021.

CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Bioactivities and antiradical properties of millet grains and hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 17, p. 9563–9571, 14 set. 2011. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf201849d>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, v. 20, n. 4, p. 263–283, 1986.

COMETTANT-RABANAL, R. et al. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112042>>. Acesso em: 28 set. 2022.

CORNEJO-RAMÍREZ, Y. I. et al. The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA-Journal of Food*, v. 16, n. 1, p. 1003–1017, 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcyt20>>. Acesso em: 28 set. 2022.

CORTÉS-GIRALDO, I. et al. Purification of free arginine from chickpea (*Cicer arietinum*) seeds. *Food Chemistry*, v. 192, p. 114–118, 8 jul. 2016.

CRUZ, R. S.; SOARES, N. D. F. F. Efeito da adição de CO₂ nas características tecnológica e sensorial do macarrão massa fresca tipo talharim. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 4, p. 848–855, ago. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cagro/a/sxCLqhKsxwH6qC7m4qrjVHP/?lang=pt>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

DALE, H. F.; BIESIEKIERSKI, J. R.; LIED, G. A. Non-coeliac gluten sensitivity and the spectrum of gluten-related disorders: an updated overview. *Nutrition Research Reviews*, v. 32, n. 1, p. 28–37, 1 jun. 2019. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30009718/>>. Acesso em: 28 out. 2020.

DE LIMA, B. R.; BOTELHO, R. B. A.; ZANDONADI, R. P. Gluten-Free Pasta: Replacing Wheat with Chickpea. *Journal of Culinary Science and Technology*, v. 17, n. 1, p. 1–8, 2 jan. 2019.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A. A intrigante bioquímica da niacina - Uma revisão crítica. *Química Nova*, v. 34, n. 10, p. 1739–1752, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011001000007&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 14 out. 2020.

DE MESA-STONESTREET, N. J.; ALAVI, S.; GWIRTZ, J. Extrusion-enzyme liquefaction as a method for producing sorghum protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, v. 108, n. 2, p. 365–375, 2012.

DE MESA, N. J. E. et al. Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, v. 90, n. 2, p. 262–270, 1 jan. 2009.

DIAS-MARTINS, A. M. et al. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, v. 109, n. April, p. 175–186, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>>.

DIAS-MARTINS, A. M. et al. Impacts of ohmic heating on decorticated and whole pearl millet grains compared to open-pan cooking. *Journal of Cereal Science*, v. 85, p. 120–129, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.11.007>>.

DIAS MARTINS, A. M. Qualidade Nutricional E Funcional De Grãos De. n. L, 2019.

DONGHONG, L. et al. Effect of Transglutaminase on the Quality of Gluten-free Grain Steamed Buns. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1, Anais...Institute of Physics Publishing, 17 jun. 2020. Disponível em: <<https://iopscience.iop.ez30.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1755-1315/512/1/012066>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

DOSTALOVA, K. et al. P009: Coeliac disease in seniors – case report. *European Geriatric Medicine*, v. 5, p. S85–S86, 1 set. 2014.

EL-SOHAIFY, S. A. et al. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 65, n. 1, p. 28–34, 1 jun. 2020a. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0570178320300233>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

EL-SOHAIFY, S. A. et al. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 65, n. 1, p. 28–34, 1 jun. 2020b.

EMBRAPA. Cultivo do Milheto. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018>. Acesso em: 14 jan. 2021.

EMBRAPA. Cereais e grãos.

FAO. (No Title). Disponível em: <<http://www.fao.org/es/faodef/fdef04e.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

FAO. 2016 – Ano internacional das leguminosas | 2016 International Year of Pulses. Disponível em: <<http://www.fao.org/pulses-2016/blog/ano-internacional-leguminosas/en/>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

FAO. Crop Prospects and Food Situation #3, September 2020. 3. ed. [s.l.] FAO, 2020.

FAOSTAT. Food and agriculture dataRome: FAO, 2019. .

FAOSTAT. FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 8 out. 2020.

FASANO, A. et al. Federation of international societies of pediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition consensus report on celiac disease *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* J Pediatr Gastroenterol Nutr, , ago. 2008. . Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18664878/>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

FÉLIX-MEDINA, J. V. et al. Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT*, v. 124, p. 109172, 1 abr. 2020.

FELLOWS, P. J. Extrusão. In: *Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Prática*. 2ª Edição ed. Porto Alegre: Artmed Editora, S.A, 2006.

FELLOWS, P. J. Extrusion cooking. In: *Food Processing Technology*. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 753–780.

FENACELBRA. Doença Celíaca. Disponível em: <<http://www.fenacelbra.com.br/fenacelbra/>>. Acesso em: 28 out. 2020.

FERREIRA, F.; INÁCIO, F. Patologia associada ao trigo: Alergia IgE e não IgE mediada, doença celíaca, hipersensibilidade não celíaca, FODMAP *Pathology associated with wheat*. [s.l.: s.n.].

FERREIRA, S. M. R. et al. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. *Food Chemistry*, v. 191, p. 147–151, 11 ago. 2016.

FRØLICH, WENCHE; ÅMAN, PER; TETENS, I. Whole grain foods and health – aScandinavian perspective. *Food & Nutrition Research*, v. 57, n. 1, p. 18503–18510, 2013.

FSANZ. Whole grain food. Disponível em: <<https://www.foodstandards.gov.au/consumer/nutrition/wholegrain/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 22 maio. 2022.

GAITAN, E. et al. Antithyroid and Goitrogenic Effects of Millet: Role of C-Glycosylflavones*. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, v. 68, n. 4, p. 707–714, 1 abr. 1989. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jcem/article-lookup/doi/10.1210/jcem-68-4-707>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

GERRARD, J. A. et al. Dough properties and crumb strength of white pan bread as affected by microbial transglutaminase. *Journal of food science (USA)*, v. 63, p. 472–475, 1998.

GLUSAC, J., ISASCHAR-OVDAT, S., & FISHMAN, A. Transglutaminase modifies the physical stability and digestibility of chickpea protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, v. 315, p. 126–301, 2020.

GOODWIN, T. W.; MORTON, R. A. The spectrophotometric determination of tyrosine and tryptophan in proteins. *The Biochemical journal*, v. 40, n. 5–6, p. 628–632, 1946. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16748065/>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

GUERREIRO, L. Dossiê Técnico de Massas Alimentícias. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.sbri.ibict.br>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Functional Properties of Extrudates from High Starch Fractions of Navy and Pinto Beans and Corn Meal Blended with Legume High Protein Fractions. *Journal of Food Science*, v. 56, n. 2, p. 431–435, 1 mar. 1991.

GUO, J.; ZHANG, Y.; YANG, X.-Q. A novel enzyme cross-linked gelation method for preparing food globular protein-based transparent hydrogel. 2012.

GUSMÃO, T. A. S. et al. Production of prebiotic gluten-free bread with red rice flour and

different microbial transglutaminase concentrations: modeling, sensory and multivariate data analysis. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 6, p. 2949–2958, 1 jun. 2019.

HARPER, J. M. *Food Extrusion*. 1979.

HASSAN, Z. M.; SEBOLA, N. A.; MABELEBELE, M. The nutritional use of millet grain for food and feed: a review. *Agric & Food Secur*, v. 10, p. 16, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>>.

HAUCK, B. W. *Choosing an extruder*. London: Sterling Publications International, 1993.

HAVENAAR, R., DE JONG, A., KOENEN, M. E., VAN BILSEN, J., JANSSEN, A. M., LABIJ, E., & WESTERBEEK, H. J. M. Digestibility of transglutaminase cross-linked caseinate versus native caseinate in an in vitro multicompartamental model simulating young child and adult gastrointestinal conditions. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, v. 61, n. 31, p. 7636–7644, 2013.

HUANG, W. et al. Effects of transglutaminase on the rheological and Mixolab thermomechanical characteristics of oat dough. *Food Chemistry*, v. 121, n. 4, p. 934–939, 2010.

HUMMEL, C. *Macaroni products: manufacture processing and packing*. 2^o ed. London: Food Trade Press, 1966.

IBRAFE. O que são Pulses? - IBRAFE - Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses. Disponível em: <<https://www.ibrafe.org/o-que-sao-pulses/>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

IBRAFE. IBRAFE – Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ibrafe.org/>>. Acesso em: 4 jan. 2021.

IDEC. Integral, só que não. 205. Disponível em: <c.org.br/em-acao/revista/da-para-achar-o-caminho/materia/integral-so-que-no>. Acesso em: 29 maio. 2022.

IDEC. Quanto mais integral, melhor. Disponível em: <<https://idec.org.br/em-acao/revista/dificil-de-renegociar/materia/quanto-mais-integral-melhor>>. Acesso em: 29 maio. 2022.

JALGAONKAR, K.; JHA, S. K. Influence of particle size and blend composition on quality of wheat semolina-pearl millet pasta. *Journal of Cereal Science*, v. 71, p. 239–245, 1 set. 2016.

JALGAONKAR, K.; JHA, S. K.; MAHAWAR, M. K. Influence of incorporating defatted soy flour, carrot powder, mango peel powder, and moringa leaves powder on quality characteristics of wheat semolina-pearl millet pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 42, n. 4, p. e13575, 1 abr. 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.13575>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

JUKANTI, A. K. et al. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, v. 108, n. SUPPL. 1, p. S11–S26, ago. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0007114512000797>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

KAPPES, M. C. et al. Estudo das propriedades de pasta de diferentes genótipos de cevada. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado/RS. Anais... Gramado/RS: 2016.

KIELISZEK, M.; MISIEWICZ, A. Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review *Folia microbiologica Folia Microbiol (Praha)*, , 1 maio 2014. . Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24198201/>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

KIM, Y. et al. Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase. *Food Chemistry*, v. 145, p. 409–416, 2014. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24128496/>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

KNIGHTS, E. J.; HOBSON, K. B. Chickpea: Overview. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. [s.l.] Elsevier Inc., 2015. 1–4p. 316–323.

KOEHLER, P.; WIESER, H.; SCHERF, K. A. Celiac Disease. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. [s.l.] Elsevier Inc., 2015. 2–4p. 83–90.

KOVÁCS, E. T. Use of enzyme transglutaminase for developing pasta products with high quality. In: *Proceedings of 3rd International Congress FLOUR-BREAD 2005 - 5th Croatian Congress of Cereal Technologists*, Anais...Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Food Technology Osijek, Department of Cereal Processing Technology, 1 jan. 2005.

LALEG, K. et al. How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT - Food Science and Technology*, v. 79, p. 471–478, 1 jun. 2017.

LEBWOHL, B.; RUBIO-TAPIA, A. Epidemiology, Presentation, and Diagnosis of Celiac Disease *Gastroenterology* W.B. Saunders, , 1 jan. 2021. .

LONNIE, M. et al. nutrients Protein for Life: Review of Optimal Protein Intake, Sustainable Dietary Sources and the Effect on Appetite in Ageing Adults. *Nutrients*, n. 10, p. 360, 2018. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/nutrients>.

LOPES-DA-SILVA, M. DE F .; SANTOS, L .; CHOUPINA, A. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. *Rev. de Ciências Agrárias*, p. 03–10, 2 mar. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2015000100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 31 jul. 2020.

LOPES-DA-SILVA, M. de F.; SANTOS, L.; CHOUPINA, A. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 38, n. 1, p. 03–10, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2015000100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 30 jun. 2020.

LU, H. et al. Millet noodles in Late Neolithic China. *Nature*, v. 437, n. 7061, p. 967–968, 13 out. 2005.

MACEDO, J.; SATO, H. PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DA TRANSGLUTAMINASE MICROBIANA EM ALIMENTOS*. v. 16, p. 413–419, 2006.

MAPA, M. da A. P. e A. Plano Nacional de Desenvolvimento da Cadeia do Feijão e Pulses. p. 1–43, 2018.

MARTI, A. et al. Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. *LWT - Food Science and Technology*, v. 54, n. 1, p. 229–235, 2013.

MARTI, A.; PAGANI, M. A.; SEETHARAMAN, K. Understanding starch organisation in gluten-free pasta from rice flour. *Carbohydrate Polymers*, v. 84, n. 3, p. 1069–1074, 2011.

MATHEWS, REBECCA; CHU, Y. Global review of whole grain definitions and healthclaims. *Nutrition Reviews*, v. 78, n. 1, p. 98–106, 2020.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. ANÁLISES DE QUALIDADE DE UMA MASSA ALIMENTÍCIA MISTA DE MANDIOQUINHA-SALSA Quality analisis of peruvian carrot mixed food pasta *Revista Raízes e Amidos Tropicais*. [s.l: s.n.].

MERCIER, S. et al. A Meta-Analysis of Enriched Pasta: What Are the Effects of Enrichment and Process Specifications on the Quality Attributes of Pasta? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 15, n. 4, p. 685–704, jul. 2016.

MEZZOMO, T. R.; NADAL, J. EFEITO DOS NUTRIENTES E SUBSTÂNCIAS ALIMENTARES NA FUNÇÃO TIREOIDIANA E NO HIPOTIREOIDISMO. *DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, v. 11, n. 2, 22 fev. 2016.

MINGUITA, A. P. da S. et al. Produção e caracterização de massas alimentícias a base de alimentos biofortificados: Trigo, arroz polido e feijão carioca com casca. *Ciencia Rural*, v. 45, n. 10, p. 1895–1901, 1 out. 2015.

MONNET, A. F. et al. Legume enriched cereal products: A generic approach derived from material science to predict their structuring by the process and their final properties *Trends in Food Science and Technology* Elsevier Ltd, , 1 abr. 2019. .

MUTHAMILARASAN, M. et al. Exploration of millet models for developing nutrient rich graminaceous crops. *Plant Science*, v. 242, p. 89–97, 22 abr. 2015.

N'DRI, D. et al. Effect of cooking on the total antioxidant capacity and phenolic profile of some whole-meal African cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 93, n. 1, p. 29–36, 15 jan. 2013.

NONAKA, M.; MATSUURA, Y.; MOTOKI, M. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry Incorporation of Lysine-and Lysine Dipeptides into α s1-Casein by Ca²⁺-independent Microbial Transglutaminase. v. 60, n. 1, p. 131–133, 2014.

OJUKWU, M.; TAN, J. S.; EASA, A. M. Cooking, textural, and mechanical properties of rice flour-soy protein isolate noodles prepared using combined treatments of microbial transglutaminase and glucono- δ -lactone. *Journal of Food Science*, v. 85, n. 9, p. 2720–2727, 10 set. 2020.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. MASSAS ALIMENTÍCIAS DE ARROZ: UMA REVISÃO. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 20, n. 2, 31 dez. 2002.

OSMAN, M. A. Effect of traditional fermentation process on the nutrient and antinutrient contents of pearl millet during preparation of Lohoh. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 10, n. 1, p. 1–6, 1 jan. 2011.

PEREIRA FILHO, I. A. et al. *Cirular Técnica 29 - Manejo da cultura do milheto*. n. L, p. 1–17, 2003.

PERES, A. P., WASZCZYNSKY, J. Farinha de casca de ovo: determinação do teor de cálcio biodisponível. *Visão Acadêmica*, v. 11, n. 1, p. 74–80, 2010.

PETITOT, M. et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, v. 43, n. 2, p. 634–641, 1 mar. 2010.

PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. *Food Science and Technology*, v. 26, n. 1, p. 179–187, jan. 2006.

GERMANI, A. E.-D. Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e soja na produção de massas alimentícias. [s.l.] Brasília, DF, EMBRAPA-SPI, 1994.

RALBOVSKY, N. M.; LEDNEV, I. K. Analysis of individual red blood cells for Celiac disease diagnosis. *Talanta*, v. 221, p. 121642, 1 jan. 2021.

REBELLO, C. J.; GREENWAY, F. L.; FINLEY, J. W. A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and its related co-morbidities. *Obesity Reviews*, v. 15, n. 5, p. 392–407, 1 maio 2014a.

REBELLO, C. J.; GREENWAY, F. L.; FINLEY, J. W. Whole grains and pulses: A comparison of the nutritional and health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. American Chemical Society, , 23 jul. 2014b.

RESEARCH, Z. M. Market Intelligence Reports, Business Consulting Services and Solutions. [s.l: s.n.].

RIBOTTA, P. D.; COLOMBO, A.; ROSELL, C. M. Enzymatic modifications of pea protein and its application in protein-cassava and corn starch gels. *Food Hydrocolloids*, v. 27, n. 1, p. 185–190, maio 2012.

RICHARDS, M. F. et al. Sowing Date Affects the Timing and Duration of Key Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Growth Phases. [s.d.] Disponível em: <www.mdpi.com/journal/plants>.

RINCON, L.; BRAZ ASSUNÇÃO BOTELHO, R.; DE ALENCAR, E. R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *Lwt*, v. 128, n. April, p. 109479, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479>>.

ROMANO, A. et al. Impact of transglutaminase treatment on properties and in vitro digestibility of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *FRIN*, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.014>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ROMANO, A. et al. Structure and in vitro digestibility of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour following transglutaminase treatment. v. 245, p. 1899–1905, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03305-0>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ROSA-SIBAKOV, N. et al. Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT - Food Science and Technology*, v. 67, p. 27–36, 1 abr. 2016.

SÁVIO, F.; PEREIRA, G. PROCESSOS TECNOLÓGICOS DE ALIMENTOS IFPE, 2015. . Disponível em: <<http://www.eufic.org/article/pt/artid/X-rays-in-food-inspection/>>. Acesso em: 6 fev. 2021.

SCHERF, K. A. Immunoreactive cereal proteins in wheat allergy, non-celiac gluten/wheat

sensitivity (NCGS) and celiac disease. *Current Opinion in Food Science*, v. 25, p. 35–41, 1 fev. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221479931830153X>>. Acesso em: 22 set. 2020.

SCHMIELE, M. et al. Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional Gluten-free pasta with high protein content obtained by conventional processing. *Ciência Rural*, 2013.

SCHOBER, T. J. et al. Gluten-free bread from sorghum: Quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, v. 82, n. 4, p. 394–404, 2005.

SERNA-SALDIVAR, S. O.; ESPINOSA-RAMÍREZ, J. Grain structure and grain chemical composition. In: *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes*. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 85–129.

SHI, J. et al. Saponins from Edible Legumes: Chemistry, Processing, and Health Benefits *Journal of Medicinal Food* Mary Ann Liebert, Inc. , , 7 mar. 2004. . Disponível em: <<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/109662004322984734>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SHIAU, S. Y.; CHANG, Y. H. Instrumental Textural and Rheological Properties of Raw, Dried, and Cooked Noodles with Transglutaminase. v. 16, n. 7, p. 1429–1441, 3 out. 2013.

SILVA, E. M. M. da; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R. Quality assessment of gluten-free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion. *LWT - Food Science and Technology*, v. 68, p. 698–706, 2016.

SILVA, H. A. et al. Role of chitosan and transglutaminase on the elaboration of gluten-free bread. *Journal of Food Science and Technology*, v. 57, n. 5, p. 1877–1886, 1 maio 2020.

SILVA, T. S. da G.; FURLANETTO, T. W. Diagnosis of celiac disease in adults. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 56, n. 1, p. 122–126, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42302010000100027&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 27 jan. 2021.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. Extrusion Processes for Foods. In: *Introduction to Food Engineering*. [s.l.] Elsevier, 2014. p. 743–766.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 42, n. 8, p. 916–929, 1 ago. 2007. Disponível em: <<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

SISSONS, M. Pasta. In: *Reference Module in Food Science*. [s.l.] Elsevier, 2016.

SISSONS, M.; ARAVIND, N.; FELLOWS, C. M. Quality of fiber-enriched spaghetti containing microbial transglutaminase. *Cereal Chemistry*, v. 87, n. 1, p. 57–64, jan. 2010.

SOFIA DA SILVA, A.; ORIENTADO, M.; FIGUEIREDO, A. Avaliação do consumo de leguminosas na Eurest Portugal, Lda. Evaluation of the consumption of legumes in Euresst Portugal, Lda. [s.l.: s.n.].

SPARVOLI, F. et al. Exploitation of Common Bean Flours with Low Antinutrient Content for Making Nutritionally Enhanced Biscuits. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 928, 27 jun. 2016. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2016.00928/abstract>>. Acesso em: 18 nov. 2020.

STEFFOLANI, M. E. et al. Use of Enzymes to Minimize Dough Freezing Damage. *Food and Bioprocess Technology*, v. 5, n. 6, p. 2242–2255, ago. 2012.

SWEDEN, S. N. F. A. Swedish dietary guidelines - risk and benefit management report. Swedish National Food Agency, 2015.

TAKÁCS, K. et al. Use of the enzyme transglutaminase for developing glutenfree noodle products from pea flour. *Acta Alimentaria*, v. 36, n. 2, p. 195–205, jun. 2007.

TAN, BIN; WU, NA-NA; ZHAI, X.-T. Solutions for whole grain food development. *Nutrition Reviews*, v. 78, n. 1, p. 61–68, 2020.

TAYLOR, J. R. N. Millet Pearl: Overview. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*.

[s.l.] Elsevier Inc., 2015. 1–4p. 190–198.

TEBA, C. da S.; LUIS RAMIREZ ASCHERI, J.; WANDERLEI PILER DE CARVALHO, C. EFEITO DOS PARÂMETROS DE EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE PASTA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS PRÉ-COZIDAS DE ARROZ E FEIJÃO*. Alimentos e Nutrição Araraquara, v. 20, n. 3, p. 411–426, 2009.

THOMPSON, T. et al. Gluten-free diet survey: Are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, v. 18, n. 3, p. 163–169, jun. 2005. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15882378/>>. Acesso em: 8 jan. 2021.

THUSHAN SANJEEWA, W. G. et al. Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, v. 43, n. 2, p. 617–626, mar. 2010. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996909002166>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

TIWARI, A. et al. Effect of Pre-Milling Treatments on Storage Stability of Pearl Millet Flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 38, n. 3, p. 1215–1223, 1 jun. 2014. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.12082>>. Acesso em: 14 out. 2020.

(USDA), U. S. D. O. A. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nt_edit.pl>.

U.S., U. S. O. A. D. of H. and H. S. U. S. D. of A. Dietary Guidelines for Americans. Maryland:Department of Health, Human Services. U.S. Department of Agriculture, n. 8, 2015.

VALIM, M. F. C. F. de A.; BATISTUTI, J. P. Efeito da extrusão termoplástica no teor de lisina disponível da farinha desengordurada de grão-de-bico (*Cicer arietinum*, L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 50, n. 3, p. 270–273, 2000. Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 22 dez. 2022.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces. 2013. 2013.

VIOLETTE, CATHERINE; KANTOR, MARK A.; FERGUSON, KATHARINE; REICKS, MARLA; MARQUART, LEN; LAUS, MARY JANE; COHEN, N. Package Information Used by Older Adults to Identify Whole Grain Foods. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, v. 35, n. 2, p. 146–160, 2016.

VIVAS, B. M. DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE BREAD FORMULATIONS. [s.l.: s.n.].

WANG, S. et al. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 14, n. 5, p. 568–585, 1 set. 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12143>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

WÓJTOWICZ, A.; MOŚCICKI, L. Influence of extrusion-cooking parameters on some quality aspects of precooked pasta-like products. *Journal of Food Science*, v. 74, n. 5, 2009.

WOOMER, J. S.; ADEDEJI, A. A. Current applications of gluten-free grains—a review *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* Taylor and Francis Inc., , 2020. . Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31965815/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

WRIGLEY, C. W. Cereals. In: Swainson's Handbook of Technical and Quality Management for the Food Manufacturing Sector. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 457–479.

YANG, D. et al. Dietary Intake of Folate, B-Vitamins and Methionine and Breast Cancer Risk among Hispanic and Non-Hispanic White Women. *PLoS ONE*, v. 8, n. 2, p. e54495, 11 fev. 2013. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0054495>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

YEOH, S. Y. et al. Effect of cooking on physical and sensory properties of fresh yellow alkaline noodles prepared by partial substitution of wheat flour with soy protein isolate and treated with cross-linking agents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 62, n. 4, p. 410–417, 2011.

ZHANG, Z.; SEND MAIL TO ZHANG L.; QIN, P.; SEND MAIL TO QIN P. Effects of

extrusion on structural properties, physicochemical properties and in vitro starch digestibility of Tartary buckwheat flour. Food Hydrocolloids, v. 135, n. 108197, 30 set. 2022.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

Os grãos de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), híbrido ADRg9070 foram doados pela Atto Sementes® (Rondonópolis, MS). O grão-de-bico foi doado pela Indústrias de Alimentos Granfino® (Nova Iguaçu, RJ). A enzima transglutaminase microbiana (Tgase) (Activa TG®-S-NF) foi doada pela empresa AJINOMOTO (São Paulo, Brasil). A massa alimentícia de arroz integral comercial (controle) foi adquirida em mercado local do Rio de Janeiro (Brasil).

2.2 Métodos

2.2.1 Produção das farinhas de milheto e de grão-de-bico

Para obtenção das farinhas integrais, os grãos inteiros de milheto e de grão-de-bico foram triturados em moinho de discos LM3600 (Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden), abertura nº 6, e, posteriormente, em moinho de martelo LM3100 com peneira de 0.8 mm de abertura (Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden). A farinha foi armazenada em saco plástico sob refrigeração.

2.2.2 Determinação da composição química das farinhas

Foram determinados os teores de umidade, cinzas, extrato etéreo, proteínas e carboidratos das matérias-primas moídas (farinhas). Todas as análises foram realizadas em duplicata, segundo as metodologias descritas pela Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000).

- Umidade (AOAC, 2005, método 934.01);
- Cinzas (AOAC, 2005, método 923.03);
- Proteína (AOAC, 2005, método 2001.11);
- Extrato etéreo (AOAC, 2005, método 945.38), utilizando éter de petróleo e extrator Soxhlet.
- Nitrogênio total (AACC, 1995, método 46-13), pelo método tradicional Kjeldahl, modificado, utilizando mistura de catalisador Na₂SO₄, CuSO₄ e Se. Como titulante foi utilizado H₂SO₄, na concentração de 0,1 N;
- Fibra alimentar total (AOAC, 2010 método 991.43);
- Os teores de carboidratos totais foram determinados por diferença subtraindo de 100 os valores de umidade, cinzas, proteínas e extrato etéreo.

2.2.3 Distribuição granulométrica das farinhas cruas e extrudadas (pré-cozidas)

A granulometria da farinha de milho, farinha de grão-de-bico e da farinha mista extrudada na proporção 54% de milho e 46% de grão-de-bico foi determinada utilizando um agitador de peneiras (Ro-Tap model RX-29, W.S. Tyler, Mentor, USA). A classificação granulométrica foi realizada em duplicata para cada uma das amostras. Foram peneiradas 100 g de cada amostra de farinha acima descrita, durante 10 minutos, em um conjunto de sete peneiras com aberturas de malhas de 250, 212, 150, 125, 106, 90 e 75 μm , respectivamente e uma base. Os conteúdos retidos em cada peneira foram pesados e expressos em porcentagens de retenção, seguindo o procedimento padrão descrito por Germani, Benassi e Carvalho (1997).

2.2.4 Delineamento experimental para obtenção das farinhas extrudadas

Para obtenção das farinhas extrudadas a partir da mistura das farinhas de milho e de grão-de-bico, foram consideradas as variáveis independentes: umidade de processamento da extrusão (%) e proporção milho/grão-de-bico (% de farinha de milho na mistura com farinha de grão-de-bico). Para analisar o efeito combinado dessas variáveis nas características tecnológicas dos extrudados, definiu-se um experimento de delineamento fatorial 2^2 com três pontos centrais, totalizando 7 ensaios (Tabela 1). Os parâmetros (variáveis independentes) foram estudados em três níveis, codificados como -1, 0 e +1 (Tabela 2). Na mesma tabela, tem-se os valores reais dos níveis estudados.

Tabela 1. Delineamento experimental para a produção das farinhas mistas pré-cozidas.

Tratamentos	Níveis		
	Mistura (M/GB%)	Umidade (%)	Corrida
1	30/70	20	2
2	70/30	20	7
3	30/70	50	4
4	70/30	50	3
5	50/50	35	1
6	50/50	35	5
7	50/50	35	6

M/G%= proporção na formulação de milho/grão-de-bico.

Tabela 2. Níveis das variáveis independentes estudadas no processo de extrusão para obtenção das farinhas extrudadas (pré-cozidas).

Variáveis independentes	Níveis		
	- 1	0	+ 1

X ₁	20	35	50
X ₂	30	50	70

X₁= umidade das misturas (%). X₂= Formulação: (%) farinha de milho.

2.2.5 Processamento para obtenção das farinhas extrudadas (pré-cozidas) por extrusão termoplástica

As matérias-primas foram misturadas na proporção definida de milho e de grão-de-bico, conforme o delineamento experimental descrito na Tabela 2.

As farinhas mistas foram processadas em extrusora de dupla rosca Evolum 25 HT (Clextral, Firminy, França) (Figura 1) para obtenção de extrudados expandidos, que foram então moídos para se obter as farinhas pré-cozidas. Os parâmetros de processamento para todos os ensaios foram constantes (com exceção da umidade de processamento): perfil de temperatura das 10 zonas de aquecimento: 25, 25, 30, 60, 80, 110, 110, 110, 100, 100 °C; rotação constante dos parafusos a 350 rpm; matriz circular de um furo com 8 mm de diâmetro. As farinhas foram alimentadas em alimentador de rosca dupla modelo GRMD15 (Schenck Process, Darmstadt, Alemanha) a uma taxa constante de 6 kg/h, e o processo foi monitorado pelo software Schenck Process Easy Serve (Schenck Process, Darmstadt, Alemanha). A água foi injetada, ajustando-se a vazão de água (L/h) (conforme delineamento), entre a primeira e a segunda zona da extrusora através de uma porta com diâmetro interno de 5,25 mm usando uma bomba dosadora de êmbolo Super K PP 6.35 (DKM Clextral Inc., Firminy, França) para atender as umidades definidas no delineamento experimental: 20% (T1 e T2), 35% (T5 a T7) e 50% (T3 e T4).



Figura 1. Extrusora Clextral em funcionamento. Fonte: Site Embrapa Agroindústria de Alimentos.

A extrusão das amostras foi iniciada após as zonas de alimentação, transição e alta pressão, atingirem as temperaturas desejadas conforme descrito acima. O produto extrudado foi coletado (Figura 2) após observar pouca variação da leitura de torque. Ao sair da matriz, os extrudados foram cortados em pedaços de aproximadamente 3 cm de comprimento, dispostos em bandejas, como mostra a Figura 2, para posterior secagem. Os extrudados expandidos foram secos overnight em secador de ar forçado a 70 °C. Após a secagem, os extrudados secos foram armazenados em embalagem de polietileno até a moagem para obtenção da farinha. A moagem procedeu-se da mesma forma como descrito no item 1.2.1.



Figura 2. Aspecto visual dos extrudados coletados em bandeja e após corte manual antes da etapa de secagem.

2.2.6 Avaliação tecnológica das farinhas cruas e pré-cozidas

2.2.6.1 Índice de solubilidade em água (ISA) e índice de absorção de água (IAA)

A determinação do ISA e IAA foi realizada, em quadruplicata, de acordo com método descrito por Anderson et al. (1969), modificado. Foi pesada cerca de 1 g de amostra, de cada tratamento, em tubos de centrífuga, previamente pesados. Posteriormente, foram adicionados 5 mL de água destilada, homogeneizados e, em seguida, adicionado mais 5 mL para lavar as paredes dos tubos. Os tubos foram colocados em banho-maria a 25 °C com agitador horizontal mecânico, da marca Dubnoff modelo NT232 (Piracicaba, São Paulo), por 30 minutos. Em seguida, então os tubos foram centrifugados em uma centrífuga da marca Hettich, modelo Universal 320R (Tuttlingen, Alemanha), durante 15 min a 9000 rpm. Após a centrifugação, os líquidos sobrenadantes foram vertidos cuidadosamente em placas de petri, previamente pesadas, as quais foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar em *overnight* a 105 °C. Após este período, as placas foram colocadas em dessecador por 30 min. a fim de atingir a temperatura ambiente e pesadas. O índice de solubilidade em água foi calculado conforme equação 1.

$$ISA (\%) = \left[\frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Após a retirada do sobrenadante, os tubos foram pesados (resíduo úmido) para calcular o IAA do material extrudado. O cálculo para este índice foi realizado de acordo com a equação 2.

$$IAA \left(g \frac{gel}{g} \text{ matéria seca} \right) = \left[\frac{\text{Peso do resíduo úmido da centrifugação (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \right] \times 100 \quad (2)$$

2.2.6.2 Propriedades viscoamilográficas

A viscosidade de pasta das amostras cruas e extrudadas foi determinada com o uso do analisador rápido de viscosidade (Rapid Visco Analyser – RVA), série 4, da marca Newport Scientific, provido do software Thermocline for Windows, utilizando-se a sua metodologia para materiais extrusados.

Foram utilizadas 3 g de farinha extrudada, com umidade corrigida para 14 %, em base úmida e, em seguida, adicionou-se água destilada até a obtenção do peso final de 28 g, conforme metodologia descrita por (COMETTANT-RABANAL et al., 2021).

O perfil de análise utilizado foi “extrusion 1 no-alcohol”, que apresenta como característica a manutenção inicial do sistema a 25 °C durante 2 minutos. Iniciou-se o aquecimento e aos sete minutos a temperatura máxima foi atingida (95 °C), onde permaneceu por 3 minutos. Logo após, o resfriamento foi iniciado até a temperatura de 25 °C, totalizando 20 minutos de análise.

Para interpretação dos amilogramas foram utilizados os seguintes parâmetros, como mostrado na Figura 3:

Viscosidade inicial ou viscosidade a frio (CV): é o valor da viscosidade em cP (Centipoise), na temperatura de 25 °C, no início do ciclo de aquecimento;

Viscosidade máxima ou pico de viscosidade (PV): é o valor da viscosidade no ponto máximo da curva, durante o ciclo de aquecimento, expresso em cP;

Viscosidade mínima após o ciclo de aquecimento a 95 °C (MV);

Quebra de viscosidade ou “Breakdown” (BD): é a diferença entre a viscosidade máxima e mínima durante a manutenção a 95 °C;

Viscosidade final no ciclo de resfriamento (VF): é o valor da viscosidade em cP, ao final da análise (a 25 °C);

Tendência à retrogradação ou “Setback” (SB): é a diferença entre a viscosidade final e o menor valor de viscosidade durante a manutenção à 95 °C.

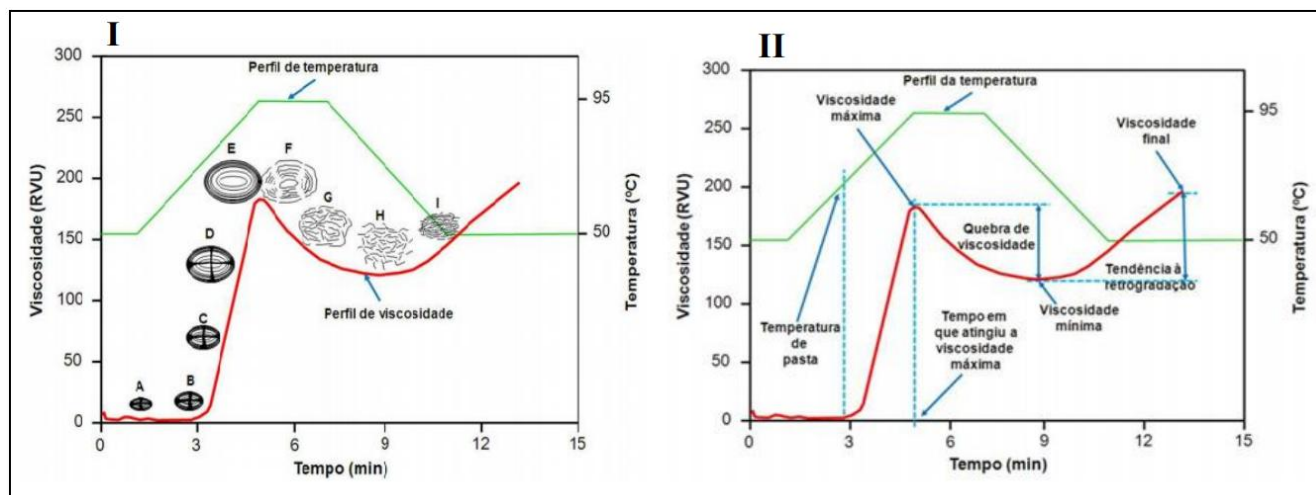


Figura 3. I- Esquema representativo das mudanças estruturais do amido antes e durante o processo hidrotérmico no RVA: (A) grânulo de amido ainda normal, não hidratado; (B) grânulo de amido começando a intumescer e a gelatinizar devido à hidratação e ao aquecimento; (C e D) grânulo de amido intumescendo e gelatinizando devido ao aumento da hidratação e do aquecimento; (E) grânulo de amido no máximo do seu intumescimento sem ruptura; (F) ruptura do grânulo de amido; (G) dispersão das moléculas de amilose e amilopectina; (H) reorganização das moléculas de amilose e amilopectina; (I) retrogradação do amido. II- Variáveis de resposta obtidas no equipamento analisador rápido de viscosidade (RVA). Fonte: (KAPPES et al., 2016).

2.2.7 Produção das massas alimentícias com as farinhas extrudadas

Foram desenvolvidas massas alimentícias segundo metodologia descrita por MINGUITA et al. (2015), utilizando as sete farinhas extrudadas (pré-cozidas), cada farinha gerando uma massa alimentícia. Os teores de umidade das farinhas mistas extrudadas de milho e grão de bico foram determinados segundo metodologia AACC 44-21 (2000), para calcular o volume de água a ser adicionado às amostras, a fim de, alcançar o teor de umidade de 36% para a produção da massa alimentícia, que foi o valor estabelecido para este tipo de produto. As farinhas extrudadas e a água foram homogeneizadas em batedeira planetária HMT, modelo M5A, por 10 minutos. Após esse período, a massa foi colocada na masseira Pastaia 2 (ITALVISA, Tatuí, Brasil) com trefila de formato fusilli, continuando homogeneização e sequencialmente a extrusão da mesma. A massa alimentícia foi espalhada em bandeja de inox vazadas a fim de facilitar a secagem de forma homogênea. A secagem consistiu em colocar o material em estufa com circulação de ar juntamente com um recipiente com água dentro do equipamento, durante toda a noite. Desta maneira a secagem das massas ocorre de forma lenta e gradativa em toda extensão das massas mantendo a integridade das mesmas. A secagem foi realizada em estufa com circulação de ar (Fabbe-Primar, São Paulo, Brasil) a noite a 50°C até que a umidade final do produto atingisse entre 10 e 13 %. As amostras secas foram armazenadas em sacos plásticos até o momento das análises de textura e qualidade de cozimento.

Para determinar a combinação dessas variáveis em ambas as fases do trabalho estabeleceu-se um experimento estatisticamente delineado em metodologia de superfície de resposta do tipo fatorial 2².

2.2.8 Qualidade tecnológica das massas alimentícias

2.2.8.1 Teste de cozimento

O teste de cozimento das massas alimentícias foi realizado, em triplicata, segundo o método nº 16-50 da AACC (1995). Os parâmetros avaliados foram;

Tempo de cozimento: determinado pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição, até atingir o tempo de cozimento, o qual caracteriza-se pela gelatinização do amido em toda seção da massa. Este ponto é determinado pela compressão do produto cozido entre duas lâminas de vidro até o desaparecimento do eixo central, a cada 15 segundos, após 5 minutos de cozimento.

Aumento de peso do produto cozido: determinado pela pesagem de 10 g de massa antes e após a cocção, usando-se o tempo de cozimento ideal de cada amostra. O resultado do aumento de peso é a razão entre o peso da massa cozida pelo peso da massa crua, expresso em porcentagem (%).

Aumento de volume do produto cozido: determinado antes e após o cozimento onde o volume da massa crua e da massa cozida foram determinados pelo deslocamento de 50 mL de hexano em proveta de 100 mL. A razão entre os dois, em porcentagem, expressa o resultado do aumento de volume.

Perda de sólidos solúveis na água de cozimento (SS): a quantidade de sólidos perdidos na água de cozimento foi determinada pela evaporação de 25 mL da água utilizada no cozimento em estufa a 105 °C até peso constante. A porcentagem dos sólidos perdidos foi calculada de acordo com a equação 4:

$$SS (\%) = \left[\frac{\text{Peso do resíduo evaporado (g)} \times \text{volume da água de cozimento (mL)}}{\text{Peso da amostra (g)} \times \text{volume da alíquota (mL)}} \right] \times 100 \quad (4)$$

2.2.8.2 Análise de textura instrumental

As massas alimentícias cozidas, segundo os tempos definidos no teste de cozimento, foram submetidas ao teste de textura instrumental. A análise do perfil de textura (TPA) foi realizada em um Analisador de Textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), equipado com uma célula de carga de 30 kg e sonda cilíndrica de alumínio de 15 mm, em uma unidade de massa fusilli. A análise foi controlada pelo software Exponent versão 6.1.11.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido) a uma compressão de 50% e ciclo de 30 s de acordo com SCHOBER et al. (2005).

O TPA foi realizado para medir dureza (N), adesividade (gÿs), coesividade, elasticidade, mastigabilidade (N), resiliência e resistência ao corte.

2.2.9 Otimização da massa alimentícia e elaboração de massa alimentícia com transglutaminase.

A partir dos resultados obtidos no delineamento experimental foi realizada a otimização do experimento (função desejabilidade,) para obtenção da farinha pré-cozida, ingrediente base na elaboração da massa alimentícia. Foram consideradas as seguintes restrições: aumento de volume máximo (1), tempo de cozimento mínimo (-1) e perda de sólidos solúveis mínima (-1), (Tabela 3).

Tabela 3. Restrições aplicadas a otimização

Variáveis	Variáveis resposta		
	Baixo	Médio	Alto
Tempo de cozimento	1	0,5	0
Sólidos solúveis	1	0,5	0
Aumento de volume	0	0,5	1

Essa condição otimizada (blend TO) foi utilizada para realizar um novo delineamento experimental de forma a estudar o efeito da adição da enzima transglutaminase (Tgase) nas massas alimentícias. Foi utilizado o delineamento fatorial 2^2 com três pontos centrais, sendo as variáveis independentes a concentração da enzima nos blends (0,5, 1,25 e 2%) e o tempo de incubação da enzima (15, 35 e 45 min) conforme apresentado na tabela 4, totalizando 7 ensaios (Tabela 5). A Tgase foi adicionada na água para obter a concentração definida no delineamento. A farinha, condicionada com a água contendo a enzima, foi deixada em repouso em estufa a 50 °C (temperatura ótima de atividade segundo o fornecedor), em tempo definido no delineamento. As etapas de produção das massas alimentícias se deram conforme descrito no item 1.2.7. As massas alimentícias foram caracterizadas quanto tempo de cozimento, volume, perda de sólidos solúveis em água e textura instrumental conforme metodologias descritas no item 1.2.8.

Tabela 4. Níveis das variáveis independentes estudadas na obtenção das massas alimentícias com adição de enzima transglutaminase.

Variáveis independentes	Níveis		
	- 1	0	+ 1
X ₁	0,5	1,25	2,0
X ₂	15	35	45

X₁= concentração da enzima (%). X₂= tempo de incubação (min).

Tabela 5. Delineamento das massas produzidas com Tgase.

Tratamentos	Concentração Enzima (%)	Tempo de Incubação (min)
1	0,5	15
2	2	15
3	0,5	45
4	2	45
5	1,25	30
6	1,25	30
7	1,25	30

2.2.10 Estudo de digestibilidade das proteínas

Para a simulação do processo de digestão humana, as amostras (mistura crua) foram submetidas às três fases da digestão: oral, gástrica e intestinal (intestino delgado), seguindo o modelo harmonizado de digestão humana INFOGEST (BRODKORB et al., 2019). A digestão foi realizada em triplicata com o uso de um tubo controle (branco), contendo os fluidos digestivos que simulam o processo de digestão humana. As três fases da digestão foram realizadas a 37 °C. A digestão salivar foi de 30 segundos, seguida da digestão gástrica por duas horas e intestinal por mais duas horas. Após a fase intestinal, as amostras foram centrifugadas (6000 x g, 20 min) e os sobrenadantes foram congelados até o uso. Para a análise de proteínas solúveis, os sobrenadantes das amostras digeridas foram analisados pelo método descrito por Bradford (1976), baseando-se na mudança de coloração do reagente Comassie Blue G250, a 595 nm, em que proteínas e peptídeos maiores que 3000 Da são medidas em espectrofotômetro digital (Biospectro, modelo SP- 20, Curitiba, Brasil). Para a análise do teor de tirosina, os sobrenadantes foram analisados pelo método descrito por (GOODWIN; MORTON, 1946), em que as amostras foram precipitadas em um volume igual de 10% (p/v) de tricloroacético ácido (TCA) durante a noite a 4 °C para remover peptídeos grandes. Em seguida, as amostras foram colocadas em uma centrífuga Sorvall Legend R8 (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, EUA) a 2146,56, 4 °C por 20 min. O sobrenadante foi lido em um espectrofotômetro AJX-3000PC (Micronal, São Paulo, Brasil) em 280nm. A liberação foi calculada de uma curva padrão de tirosina.

2.2.11 Análises estatísticas

O ajuste dos dados experimentais ao modelo utilizado foi testado pela análise de variância (ANOVA) a partir do uso do teste de distribuição F a 5% de probabilidade segundo o qual, um modelo de regressão é significativo quando o valor do teste F calculado é maior ou igual ao do teste F tabelado e, quanto maior o teste F calculado,

mais preditivo é o modelo (BOX e WETZ, 1973). Para a interpretação dos dados e a predição do modelo, um coeficiente de regressão (R^2) é considerado bom quando apresenta valores acima de 95%. O processamento dos dados e a análise estatística foram realizados com auxílio do programa computacional Statistica, versão 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Para as massas alimentícias foi feita a otimização dos tratamentos experimentais utilizando a função desejabilidade (Derringer & Suich, 1980), utilizando as restrições mencionadas acima. Foram avaliados modelos matemáticos polinomiais para o estudo da influência das variáveis independentes sobre as respostas.

Os gráficos de superfície de resposta foram desenhados, com auxílio do mesmo programa por meio do modelo matemático proposto, mantendo-se a resposta (variável dependente) em função do eixo Z, com eixos X e Y representando as variáveis independentes, ao mesmo tempo em que as demais variáveis foram mantidas constantes no ponto central (correspondente ao nível codificado 0).

Para as análises antes do processo de extrusão os resultados foram discutidos por meio da comparação de médias analisadas pelo teste de Tukey (GOMES, 2000).

A Análise de Componentes Principais (PCA) e coeficiente de Pearson (r) foram aplicadas nas propriedades tecnológicas das farinhas, características de cozimento e textura das massas alimentícias, utilizando o software R (R Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

CAPÍTULO III

ARTIGO: EFFECT OF TRANSGLUTAMINASE ON WHOLE GRAIN GLUTEN-FREE PASTA BLENDS OF EXTRUDED PEARL MILLET AND CHICKPEA FLOURS

Rafaella Torres Batista ^a; Melicia Cintia Galdeano ^b; Davy William Hidalgo Chávez^a;

André Leonardo dos Santos ^a; Carlos Wanderlei Piler de Carvalho^b

a Department of Food Science and Technology, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Janeiro, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, 23890-000, Brazil

b Embrapa Agroindústria de Alimentos, Avenida das Américas, 29501 - Rio de Janeiro - RJ, 23020-470, Brazil.

* Corresponding author

Avenida das Américas, 29.501 Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Phone: +55 21 3622 9622; Fax: +55 21 3622 9713.

email: rafaellatorres@agronoma.eng.br

ABSTRACT

Gluten-free pasta is great options as main meals for celiacs and for those who choose these products as healthy alternative and diversification. Often, gluten-free pasta does not meet the quality desired by consumers. This study aimed to evaluate the effect of pre-cooked extrusion flours of whole grain millet and chickpea and the addition of transglutaminase on the techno-function quality of gluten-free pasta. The pre-cooked pasta with transglutaminase had an ideal cooking time between 3 and 4 min, good protein (13-15 g 100 g⁻¹) and dietary fiber (11 g 100 g⁻¹). The presence of fiber in the flour caused a formation of compact structure resulting cooking loss. The extruded dough presented a short cooking time due to broken starch, which promotes greater water binding during cooking. Texture tests had significant results ($p < 0.05$) for cohesion and resilience. The pasta with 2% transglutaminase and 45 minutes of incubation showed better cohesion and less resistance, making it difficult to return to its original shape.

Keywords: Extrusion cooking, cereal, pulses, enzyme, celiac, cooking quality.

INTRODUCTION

Celiac disease currently affects around 1% of the world's population (LEBWOHL; RUBIO-TAPIA, 2021). The only treatment is the elimination of gluten from the diet, and therefore, it is necessary to expand the supply of new products that provide celiac consumers with nutritious and tasty options (JALGAONKAR; JHA, 2016).

Although currently gluten-free products have already achieved good acceptance, they still leave something to be desired in terms of diversity, nutritional and sensory quality, in addition to high prices. The low diversity of products offered to celiacs, there isn't a loss in sensory experience, but also a loss of many nutrients, since most of the flour used as an ingredient in the formulation is refined, resulting from the processing of the grain for the removal of the external layers rich in fibers, proteins, minerals and bioactive compounds (WÓJTOWICZ; MOŚCICKI, 2009).

Pasta is a good vehicle for adding nutrients, as it allows diversifying the ingredients of the formulations without apparent loss of pasta quality (MERCIER et al., 2016).

The global market for gluten-free products has grown significantly in recent decades. It was estimated at approximately 5.1 (US\$ billion) in 2019 and is expected to reach almost 8.1 (US\$ billion) by 2026 (RESEARCH, 2018). With a view to meeting this market gap, several studies have sought to use alternative raw materials with high nutritional value to obtain pasta (ALLEN; ORFILA, 2018; EL-SOHAIFY et al., 2020). In this regard, the use of grains such as millet and pulses (dried legumes) can make a difference.

Millet is an ancestral cereal rich in proteins, fibers and other nutrients in smaller proportions (DIAS MARTINS, 2019). In the context of climate change, it is a crop with the potential to survive adverse conditions and contribute to food security (HASSAN et al, 2021).

However, like other cereals, millet is limiting in the essential amino acid lysine and, therefore, its association with legumes (non-limiting in lysine) can be a differential in the development of products (DA SILVA, 2017). Among the legumes most studied in mixtures with cereals are soybeans and, more recently, pulses (DE MESA et al., 2009; ARRIBAS et al., 2019; FÉLIX-MEDINA et al., 2020). Pulse is the name given to dried leguminous seeds, represented mainly by beans, chickpeas, lentils and peas (BRESCIANI et al., 2022). Chickpeas are a source of vitamins, minerals and fiber and provide health benefits such as improving digestion, weight control, reduction and prevention of the risk of developing some chronic diseases such as diabetes, cardiovascular diseases and some types of cancer (SHI et al., 2004; JUKANTI et al., 2012; YANG et al., 2013)

Cold extrusion is the most common technology for pasta production. The raw materials are mixed and enter the extruder cylinder (temperature around 50 °C), where the product is formed and molded (GUERREIRO, 2006). The sensorial and textural characteristics of gluten-free pasta depend on the modification of the starch, as its raw materials are very different from conventional pasta (BASSI et al., 2020). A strategy to improve the technological and sensory quality of gluten-free pasta is the use of thermoplastic extrusion (FELLOWS, 2006).

In the process of cooking flours by thermoplastic extrusion, starch conversion and protein denaturation occur due to heat treatment, high pressure and shear forces to which the material is subjected. During extrusion, there is a loss of molecular organization of the starch granules from the amorphous regions and, as the shear proceeds, rupture occurs between the crystalline lamellae; the amorphous lamellae act as sites of weakness for fracture (MARTI et al., 2013; MARTI et al., 2011). Physicochemical changes in starch granules and other constituents promoted by extrusion lead to rheological changes resulting in the formation of a structured network that mimics the gluten network. As a result, the quality of gluten-free pasta, especially in terms of texture, can be significantly improved (CHEFTEL, 1986). Another advantage of thermoplastic extrusion is that it is a continuous and sustainable process (less water and energy consumption and no generation of effluents), in addition to being widely used in the food industry (FELLOWS, 2017; CHOUPINA, 2015).

Another positive effect that can be obtained in thermoplastic extrusion processing is related to the increase in the digestibility and availability of the nutrients present (CHEFTEL, 1986). This occurs due to protein denaturation and the rupture of starch granules, making the material more accessible to enzymatic attack, facilitating its hydrolysis (ZHANG et al., 2022).

In addition to thermoplastic extrusion, the use of enzymes such as transglutaminase (Tgase) has been successful in improving the technological and sensory quality of gluten-free bakery products (GUSMÃO et al., 2019). The enzyme acts by cross-linking lysine and glutamine residues, forming an ϵ -(γ -glutamyl)-lysine bond and creating a stable protein network that helps reduce the loss of solids in water and improve the texture of the product (DONGHONG et al., 2020; SILVA et al., 2020).

The objective of this work was to develop a gluten-free pasta with good nutritional and technological quality based on millet and chickpeas.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Chickpea grains were donated by Indústria de Alimentos Granfino (Nova Iguaçu, Brazil) and millet grains (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br), hybrid ADRg9070, were donated by Atto Sementes (Rondonópolis, MS). The microbial transglutaminase (Tgase) enzyme (Activa TG®-S-NF) was donated by the company AJINOMOTO (São Paulo, Brazil). Commercial brown rice pasta (control) was purchased from a local market in Rio de Janeiro (Brazil).

Chemical composition

The chemical composition of millet and chickpea flours *in natura* was carried out according to the official analytical methods of the AOAC (2000): moisture (method 925.09), fat (method 945.38), total protein (method 2001.11, factor 5.75), ash (method 923.03), total dietary fiber (soluble and insoluble) (method 991.43). Carbohydrate was calculated by difference.

Flour preparation

To obtain whole grain flours, millet and chickpeas were ground in an LM3600 disk mill (Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden) and subsequently in an LM3100 hammer mill with a 0.8 mm sieve opening (Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden). The particle size distribution was conducted in a sieve shaker (Ro-Tap model RX-29, WS Tyler, Mentor, USA), according to Germani et al. (30).

Pre-cooked flour

In order to obtain pre-cooked flour, the formulations determined in the design were processed in an Evolum HT25 twin-screw extruder (Cletral Inc., Firminy, France), equipped with an 8 mm opening die, ten heating zones set at temperatures of 25, 25, 30, 60, 80, 110, 110, 110, 100, 100 °C (from the feeding to the outlet), and constant screw speed at 350 rpm (values defined in preliminary tests). For the extrusion of the flours, a 2² factorial design was used with three central points, with the independent variables moisture (20, 35 and 50%) and

millet content of the mixtures (30, 50 and 70%) complemented to 100% with chickpea, totaling 7 experimental tests. The flours were fed into a twin-screw gravimetric feeder model GRMD15 (Schenck Process, Darmstadt, Germany) at a constant rate of 6 kg/h, and the process was monitored by the Schenck Process Easy Serve software (Schenck Process, Darmstadt, Germany). Water was injected between the first and second zones of the extruder through a port with an internal diameter of 5.25 mm using a Super K PP 6.35 plunger metering pump (DKM Cleextral Inc., Firminy, France) to obtain the levels of moisture of 20, 35 and 50%. The collected extrudates were dried in a forced air oven at 70 °C overnight and then ground into extruded whole meal flours (pre-cooked flours).

Technological evaluation of raw and pre-cooked flours

Paste viscosity

Paste viscosity was determined using a Series 4 Rapid Visco Analyzer (RVA) (Newport Scientific Pty Ltd., Warriewood, Australia) in accordance with COMETTANT-RABANAL et al., 2021. The measured parameters were cold viscosity, peak viscosity, minimum viscosity, breakdown, final viscosity and setback. Measurements were performed in duplicates.

Water solubility index (WSI) and water absorption (WAI)

ISA and IAA determinations were performed according to the methodology described by Anderson et al. (1969) modified, in quadruplicate. The ISA (%) was calculated by the proportion of the weight of the evaporated residue (g) and the weight of the sample (g), multiplied by 100 and the IAA (g water/g dry matter) was calculated by the proportion of the weight of the residue after centrifugation (g) and sample weight (g).

Pasta production

The *fusili* pasta shape was produced in a Pastaia 2 pasta extruder (ITALVISA, Tatuí, Brazil) using the extruded flours (pre-cooked) according to the methodology described in MINGUITA et al., 2015. The moisture of the blends, defined in preliminary tests, was set at 36%. Drying was carried out in an oven until the final moisture of the product reached 13%. The pasta was cooled at room temperature and stored in plastic bags until further analysis.

Technological characterization of pasta

The cooking test was carried out according to the AACC method n. 16-50 (1995). The evaluated parameters were: cooking time, increase in weight of the cooked product, increase in the bulk of the cooked product and loss of soluble solids in the cooking water. The texture of the pasta was determined by texture profile analysis (TPA) using the TA-XT Plus texturometer

(Stable Micro Systems, Surrey, UK) equipped with a 30 kg load cell and 15 mm diameter aluminum probe. The analysis was controlled by Exponent software version 6.1.11.0 (Stable Micro Systems, Surrey, UK) at 50% compression and 5 s cycle according to SCHOBER et al., 2005. The measured parameters were: hardness, adhesiveness, cohesiveness, elasticity, chewiness and resilience.

Optimization of pasta and preparation of pasta with transglutaminase (Tgase)

Based on the results obtained in the experimental design, the experiment was optimized (desirability function) to obtain pre-cooked flour, the basic ingredient in the preparation of pasta. The following restrictions were considered: maximum increase in bulk (1), minimum cooking time (-1) and minimum loss of soluble solids (-1). This condition was used in a new processing in the thermoplastic extruder to obtain the optimized pre-cooked flour (called blend TO) which was used to obtain pasta containing enzyme. A new experimental design was carried out to study the effect of adding Tgase to pasta. A 2² factorial design with three central points was used, with the independent variables adding enzyme concentrations of 0.5, 1.25 and 2.0% at incubation time of 15, 35 and 45 min, totaling 7 trials. Tgase was added in the water to obtain the concentration defined in the design. The flour was conditioned with water containing the enzyme and allowed to rest in an oven at 50 °C (optimum activity temperature according to the supplier) at the defined time. The other processing steps followed the description (item 2.6). The fusilli shape pasta was characterized by cooking time, bulk, loss of water-soluble solids and instrumental texture according to previously described methodologies.

Protein digestibility study (soluble proteins and tyrosine content)

In vitro digestion simulation, two pastas produced with the same composition (millet/chickpea proportion of 54/46) and processing moisture (36% moisture) were used, however, one with Tgase (Tg3) chosen by the best cooking results, texture and appearance, and the other without the addition of Tgase. For comparison, a commercial rice-based pasta was also evaluated. The simulation was performed based on the INFOGEST simulated digestion protocol (BRODKORB et al., 2019). After digestion, the fractions were collected, centrifuged (6000 x g for 20 min) and the supernatants were analyzed for protein digestion and quantified using the Bradford method (BRADFORD, 1976). The release was calculated from a standard tyrosine curve (GOODWIN; MORTON, 1946).

Statistical analysis

To evaluate the extruded flours (pre-cooked flours) analysis of variance (ANOVA) was

carried out, at a 5% significance level, using the Statistica 7.5 software (StatSoft, Tulsa, USA). For pasta, the experimental treatments were optimized using the desirability function (Derringer & Suich, 1980), using the restrictions mentioned above. Polynomial mathematical models were evaluated to study the influence of independent variables on responses. Principal Component Analysis (PCA) and Pearson's coefficient (r) were applied to the technological properties of flours, cooking characteristics and texture of pasta, using the R software (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of millet and chickpea flours and mixtures

Chemical composition

Chickpeas and millet had high values for fibers, proteins and carbohydrates, making their combination an interesting combination from a nutritional point of view (Table 1).

The incorporation of proteins for the production of gluten-free pasta can be beneficial not only in terms of nutritional enrichment, but can also significantly improve the texture of these products (MARTI et al., 2013). With the consumption of a portion of approximately 200 g of pasta, all blends had protein contents capable of supplying more than 20% of the daily need for protein intake (0.8 g per kg of body weight), which is necessary for the growth, conservation and repair of organs, tissues and cells (LONNIE et al., 2018). As for the mineral content, the mixed flours presented values between 1.9 and 2.5%. The presence of the pericarp guarantees a higher mineral content and contributes to the browning of the flour and, consequently, the pasta. The total dietary fiber (TDF) content of millet flours varied between 10.1 and 12.0 g/100g. Chickpea had a higher fiber content than millet and, consequently, mixtures with a higher chickpea content a higher fiber content. The use of 50 g of any of the formulated mixtures provides at least 25% of the Recommended Daily Intake (RDA) of dietary fiber (ANVISA, 2003). The 54/46 formulation can be classified as a source of protein and fiber flour (ANVISA, 2012). In 100 g of raw pasta, the caloric value of this mixture was 372.58 kcal. Whereas, the pasta

after cooking it increases twice its original weight, it can be suggested that in a portion of 200 g of cooked pasta it supplies an average of 18% of the daily energy recommendations, according to the USDA (2020).

Table 1. Proximal composition (dry basis) of raw materials and blends used for pasta production.

Raw material	Protein (%)	Fat (%)	Ash (%)	TDF* (%)	Carb (%)	Calories (kcal)
millet	9.4 ±0.02 ^b	5.7±0.20 ^b	1.5±0.25 ^b	10.1±0.43 ^b	65.8±0.12 ^a	353.3±0.01 ^a
chickpea	17.4 ± .22 ^b	5.3±0.10 ^b	2.9±0.34 ^a	12.6±0.36 ^a	54.6±0.47 ^b	336.0±0.02 ^b

blends**						
(millet/chickpea)						
30/70	15.07	5.44	2.53	11.83	57.95	340.95
70/30	11.88	5.62	1.94	10.84	62.42	347.47
50/50	13.48	5.53	2.24	11.34	60.19	344.22
54/46	13.16	5.55	2.17	11.25	60.64	372.58

*total dietary fiber. ** calculated from raw material values.

Particle size distribution

Millet flour was coarser than chickpea flour showing 82% and 66% of the particles larger than 150 μm , respectively (Figure 1). 54:46 blend flour (millet/chickpea), selected as the best proportion, according to the desirability function, showed more than 83% of particles larger than 150 μm . Although the milling process was the same, the natural variation (chemical and structural) between the raw materials can explain the observed differences. To obtain pasta, it is desirable that the particles have uniform sizes and densities, to prevent segregation during mixing and transportation before the extrusion process (ASCHERI et al., 2011). In extrusion processing (CARVALHO et al., 2010) and in the preparation of pasta, a greater uniformity of the particles allows the elaboration of a final product with better sensory quality, mainly in terms of texture, flavor and visual appearance. This is because the product absorbs water homogeneously (PERES et al., 2010).

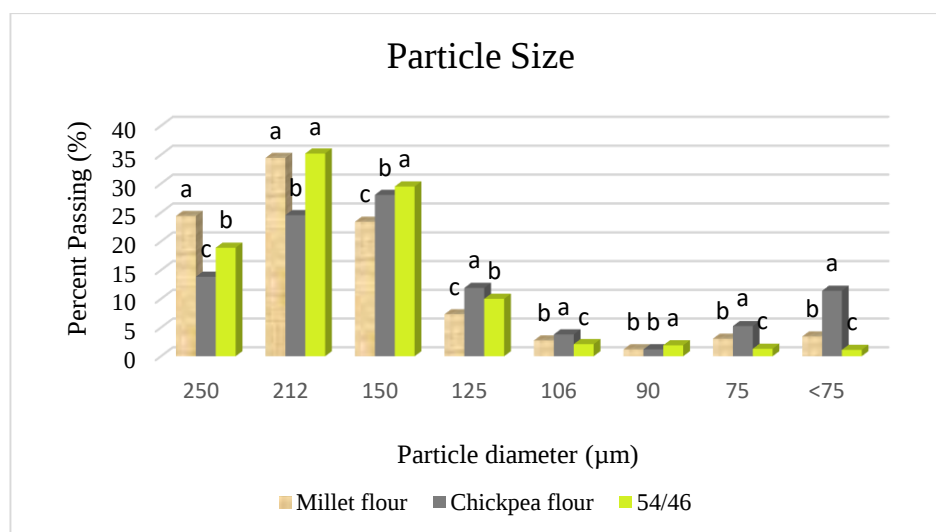


Figure 1. Particle size distribution of raw millet and chickpea flours and the 54/46 mix (millet/chickpea).

Water solubility index (WSI), water absorption index (WAI) of extruded flours

The determination coefficient (R^2) of the WSI explained 97% of the total variation of the response variable around the mean and 3% is attributed to the residuals. The lack of adjustment of the model to the experimental data is not evident ($p > 0.05$). All factors had a

negative influence on the responses, however, only linear moisture, millet content in quadratic form and the interaction of factors were significant ($p \leq 0.05$) in the WSI (Figure 3). Moisture had a negative linear effect and millet content had a negative quadratic effect with minimum WSI values close to the central point. Maximum WSI values are found in extrusion treatments with lower moisture and high protein concentration (Table 2). Under these conditions, fragmentation of gelatinized starch and protein denaturation may have resulted in dissociation and unfolding of molecules, increasing solubility (GUJSKA; 1991; WANG et al., 2015). The WSI parameter reflects the degree of starch granule degradation and showed a negative correlation with minimum viscosity (MV), peak viscosity or maximum viscosity (PV), final viscosity (FV) and setback (SB) responses of the paste properties (Figure 5).

The WAI ranged from 3 to 4.2% (Table 2), similar values of WAI in extruded grains have been reported in literature (ABDALLA, A., MUSTAFA, 2014; DIAS-MARTINS et al., 2019). R^2 explained 78% of the variable's total variation, with a non-significant lack of adjustment ($p > 0.05$). The treatments did not differ from each other ($p > 0.05$), thus, the moisture content and the percentage of millet in the blends did not affect the water absorption of the flours (results not shown).

Table 2. Physical and pasting properties characterization flour and cooking quality of pasta.

Independent variables			Dependent variables																			
Test	Moisture (%)	M/GB (proportion)	Pre-cooked flour								Pasta											
			WSI	WAI	Pasting properties						TC	W	VOL	CL	H	A	E	C	G	M	R	CT
					CV	MV	PV	DB	FV	SB												
T1	20	30/70	17	3.40	55	82	94	12	176	94	9	102	134	12	2.86	-1.0	1.12	0.77	2.22	2.45	0.4	3.6
T2	20	70/30	23	4.28	46	11	32	21	320	21	10	46	65	13	11.25	-7.0	0.93	0.68	7.49	6.92	0.2	14
T3	50	30/70	15	3.30	22	150	155	5	310	160	4.5	62	108	20	1.49	-0.5	0.88	0.71	1.04	0.97	0.3	2.3
T4	50	70/30	7	3.35	23	222	386	164	570	348	4.4	80	108	7	2.12	-0.3	1.08	0.69	1.45	1.5	0.3	3.4
T5	35	50/50	11	3.20	23	159	219	59	441	282	4.3	74	105	14	2.22	-0.6	1.07	0.74	1.63	1.76	0.3	3.2
T6	35	50/50	9	3.43	34	240	303	63	581	341	4.3	82	117	14	1.50	-0.2	1.27	0.73	1.1	1.43	0.3	3.1
T7	35	50/50	10	3.07	19	235	296	61	561	326	4.3	79	109	14	1.92	-0.4	1.05	0.75	1.44	1.52	0.40	4.2

WSI: water solubility index (%); WAI: water absorption index (g water/g sample); CV: initial viscosity (cP); MV: minimum viscosity after heating (cP); PV: peak viscosity (cP); BD: breakdown or breakdown of viscosity (cP); FV: final paste viscosity (cP); SB: setback or tendency to retrogradation (cP). TC: cooking time (min); W: weight; VOL: increase in bulk of pasta (%); SS: cooking loss (%); H: Hardness (N); A: adhesiveness; E: elasticity; C: cohesiveness; G: gumminess; M: chewiness; A: resilience; CT: cut

Pasting Properties

The viscosity profile of the raw and extruded flours shown in Figure 2. It can be noted that the raw materials had low viscosity curves. PV and FV had a significant linear influence of moisture and the experimental models explained 86% and 87% of the total variation obtained, respectively. There was no evidence of lack of adjustment of the model to the experimental data ($p > 0.05$). Higher values of maximum or peak of viscosity (PV) and final viscosity (FV) at higher moisture content indicate that the increase in moisture in the material exerts a lubricating effect inside the extruder, which tends to reduce its internal temperature, causing less shearing of the samples. As a result, the starch that has not undergone complete cooking as well as depolymerization and molecular disarrangement in order to interact with water molecules, arrives intact at the heating cycle, increasing the viscosity values at 95 °C and therefore the final viscosity, as similar to other researches based on cereals and pulses (SILVA; et al, 2016; TEBA et al., 2009). An expressive PV of the T4 blend is also observed, suggesting that the extrusion had the effect of undoing the action of an intrinsic property of the formulation, which in the flour without extrusion prevented the formation of the PV. The stability of starch at high temperatures, under mechanical agitation, can be observed by the obtained values of breakdown (BD) being of great importance in the preparation of pre-cooked pasta, since it indicates the ability of the product to remain intact during cooking (CORNEJO-RAMÍREZ et al., 2018). The high R^2 of the response indicated a good fit of the model to the experimental data, since it explains 99% of the total variation of the response variable around the mean and only 1% is attributed to the residuals. The regression coefficients show that all variables and their interactions contributed to the response. The retrogradation viscosity or setback (SB) measures the difference between the final viscosity and the lowest viscosity value after the peak, with R^2 explaining 94% of the total variation of the response variable. The quadratic effect of the mixture and the linear effect of moisture contributed to the values found for SB. In both answers, the millet content in the blend is the factor that exerts the most influence, that is, there is a greater presence of starch, which, as seen in the previous answers, along with moisture, remained preserved in greater quantity. Starch is made up of two fractions: amylose and amylopectin. When starchy solutions are cooled, there is formation of gels or microcrystalline precipitates, due to the tendency for the formation of intermolecular bonds of the amylose fraction, which does not happen with amylopectin, due to the ramifications present in the molecule. This regrouping between the amylose fractions is known as retrogradation.

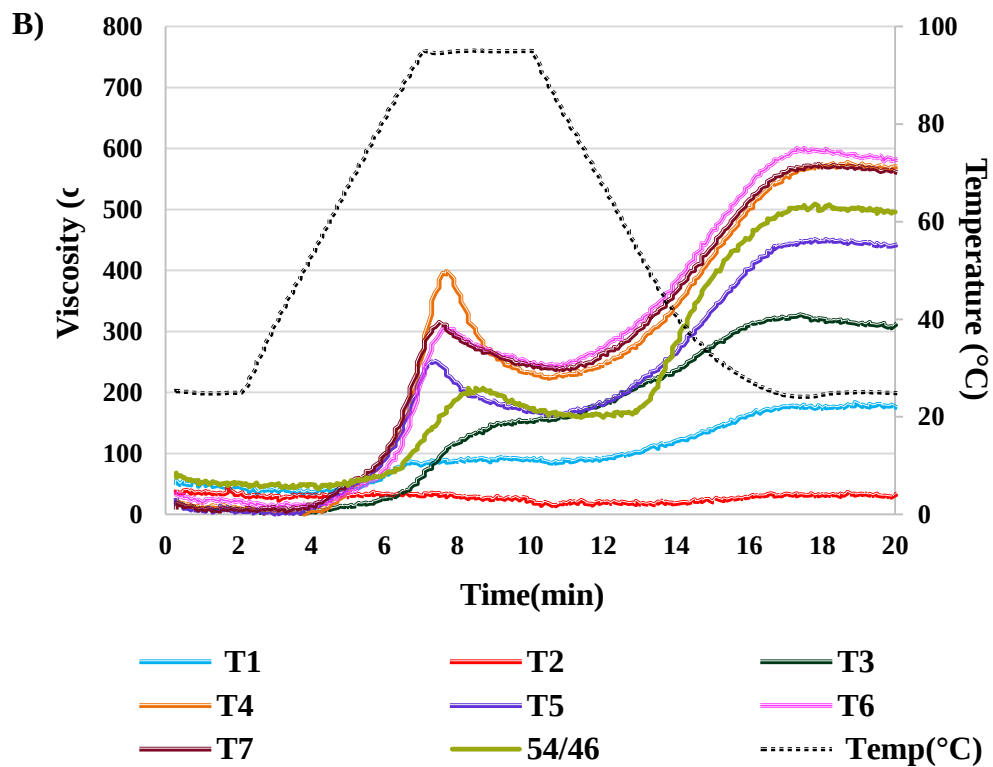
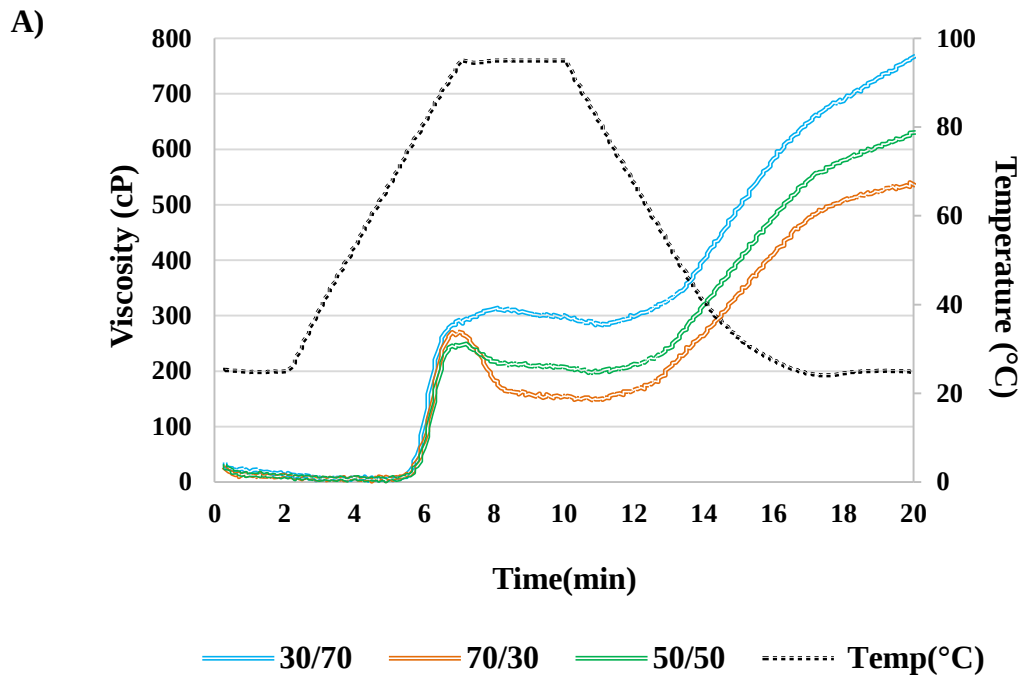
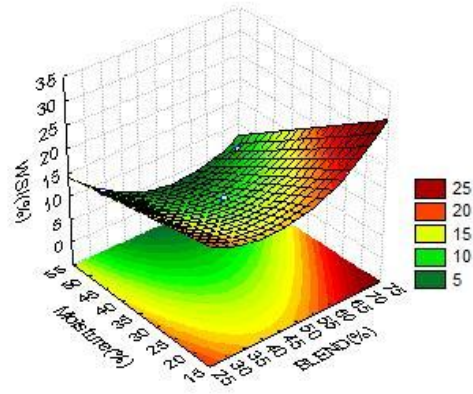


Figure 2. Pasting properties of raw (A) 30/70 (millet/chickpea); 70/30 (millet/chickpea); 50/50 (millet/chickpea), and pre-cooked (B) flours. T1 (30/70 and 20% moisture); T2 (70/30 and 20% moisture); T3 (30/70 and 50% moisture); T4 (70/30 and 50% moisture); T5 to T7 (50/50 and 35% moisture); 54/46 (millet/ chick pea and 36% moisture).

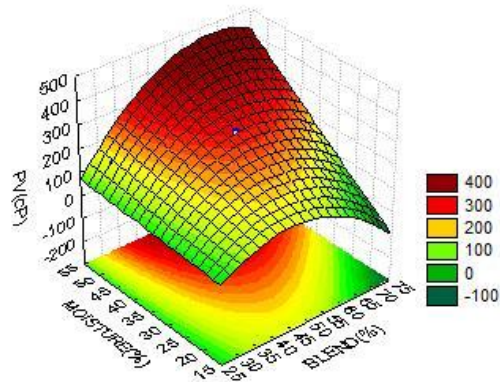
$$\text{WSI} = 36,93 - 0,8722 * \text{blend} + 0,0117 * \text{blend}^2 + 0,0485 * \text{moisture} - 0,0079 * \text{blend} * \text{moisture}$$

R adj= 0,97278



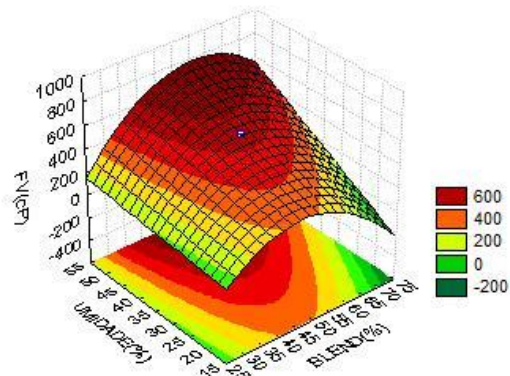
$$\text{PV} = -309,29 + 20,0541 * \text{blend} - 0,265 * \text{blend}^2 - 5,2916 * \text{moisture} + 0,2441 * \text{blend} * \text{moisture}$$

R adj= 0,8614



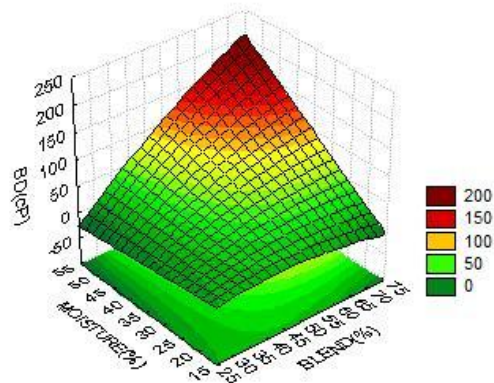
$$FV = -946,02 + 53,63 \cdot \text{blend} - 0,6397 \cdot \text{blend}^2 - 5,6333 \cdot \text{umidade} + 0,3366 \cdot \text{blend} \cdot \text{umidade}$$

$$R \text{ adj} = 0,8774$$



$$BD = 28,91 + 0,39166 \cdot \text{blend} - 0,0266 \cdot \text{blend}^2 - 3,9833 \cdot \text{moisture} + 0,125 \cdot \text{blend} \cdot \text{moisture}$$

$$R \text{ adj} = 0,9989$$



$$SB = -607,81 + 33,97 \cdot \text{blend} - 0,4014 \cdot \text{blend}^2 - 4,3250 \cdot \text{moisture} + 0,2175 \cdot \text{blend} \cdot \text{moisture}$$

$$R \text{ adj} = 0,94628$$

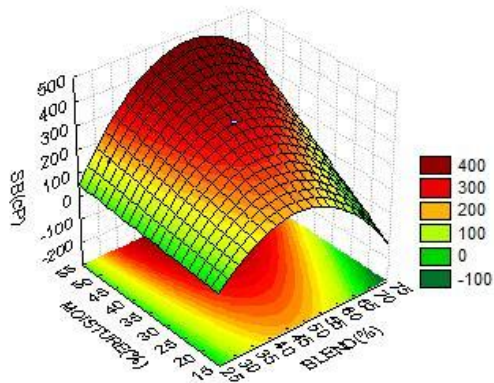


Figure 3. Response surfaces of the effect of extrusion on the physical properties the

extruded flours: WSI: water solubility index (%); PV: peak viscosity (cP); FV: final paste viscosity (cP); BD: breakdown or breakdown of viscosity (cP), setback or retrogradation (SB).

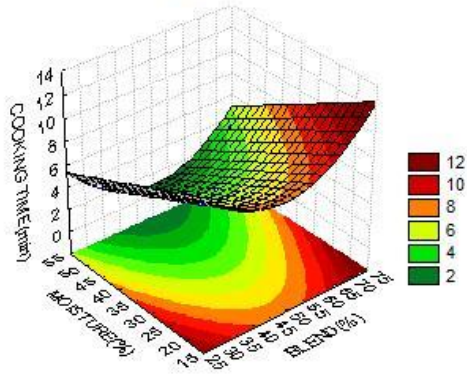
Pasta cooking test

The values of cooking time, increase in weight of the cooked product, increase in the volume of the cooked product and cooking loss ranged from 4 to 11 min, 46 to 102%, 65 to 134% and 7 to 20%, respectively. According to Hummel (HUMMEL, 1966), the desirable characteristics of a pasta are an increase in bulk density greater than 100%, a short time of cooking with low loss of solids and gain in weight lower than 200%. The origin and properties of the raw material, the format of the product, the type of processing and the drying condition and the cooking itself influence the responses. For TC, R^2 explained 99% of the total variation observed. A strong linear effect of moisture was observed, indicating that the variation in cooking time was inversely proportional to the percentage of processing moisture (Figure 4). It can be suggested that the starch conversion and protein denaturation caused by extrusion was greatly affected by the extensive presence of water resulting in shorter cooking time. The same was observed by Silva et al. (SILVA et al., 2016). The increase in moisture resulted in a decrease in the optimal cooking time of pre-cooked rice and corn pasta. Bulk increase values varied between 65 and 134%. Higher VOL were found in pasta with higher chickpea content (negative linear blend) and high interaction (blend x moisture) ($p \leq 0.05$), the R^2 explaining 91% of the total variation of the response variable, shows us a predictive model. This answer depends on factors such as cooking time and the shape of the dough, in addition to the quality and quantity of proteins (which were present in greater quantities where VOL was higher) which, in the mixing process, hydrate and absorb water, and the more The faster the formation of this continuous network of proteins, the more limited the expansion of the starch will be, ensuring firm consistency in the doughs, directly reflecting on the final bulk (MENEGASSI; 2006). Observing the correlation graph (Figure 5) there is a high positive correspondence between the bulk of pasta and weight gain. This relationship can be observed in the T1 and T6 formulations.

For cooking loss (SS), the negative interaction effects of the factors, negative linear and positive quadratic effect of the blend were significant. The models presented a high coefficient of determination ($R^2 > 99\%$), showing that they adjusted well to the experimental data. Pasta with more millet and higher processing moisture (T4) had the lowest SS (Table 2), where we also found the lowest WSI value, proving the direct influence of this parameter on cooking quality. According to Silva et al. (2016), greater hydration can benefit swelling, reducing losses during pasta cooking. Thus, its suggested that the increase in moisture level may have contributed to the denaturation of the proteins, which, consequently, happened the insolubilization of proteins, better retaining the starch in the matrix of the pasta, thus reducing the losses of soluble solids. Furthermore, the intrinsic characteristics of the raw materials (amount of lipids and starch) also directly interfere with cooking properties (CHEFTEL, 1986).

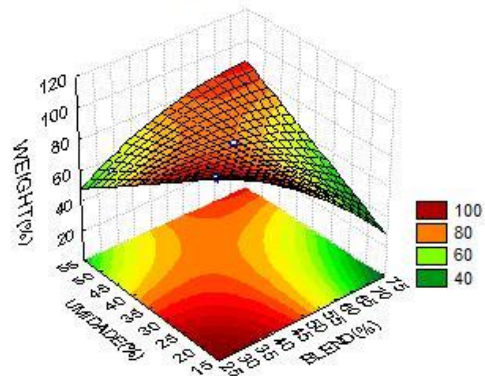
$$\text{COOKING TIME} = 25,106 - 0,6373 * \text{blend} + 0,0068 * \text{blend}^2 - 0,1235 * \text{moisture} - 0,0009 * \text{blend} * \text{moisture}$$

R adj=0,9999



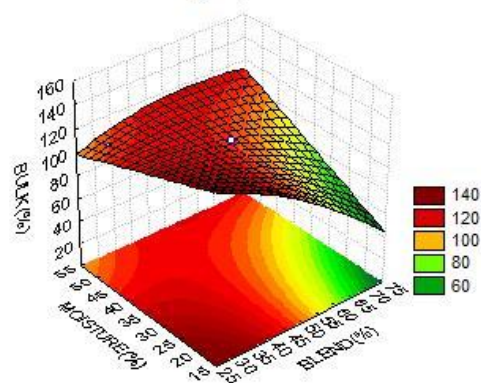
$$\text{WEIGHT} = 177,04 - 1,175 * \text{blend} - 0,014583 * \text{blend}^2 - 3,1833 * \text{moisture} + 0,0616 * \text{blend} * \text{moisture}$$

R adj= 0,9464



$$\text{BULK} = 203,02 - 1,2291 * \text{blend} - 0,0164 * \text{blend}^2 - 2,591 * \text{moisture} + 0,0575 * \text{blend} * \text{moisture}$$

$$R \text{ adj} = 0,9139$$



$$\text{COOKING LOSS} = -5,4708 + 0,5216 * \text{blend} - 0,002791 * \text{blend}^2 + 0,5766 * \text{moisture} - 0,011 * \text{blend} * \text{moisture}$$

$$R \text{ adj} = 0,9967$$

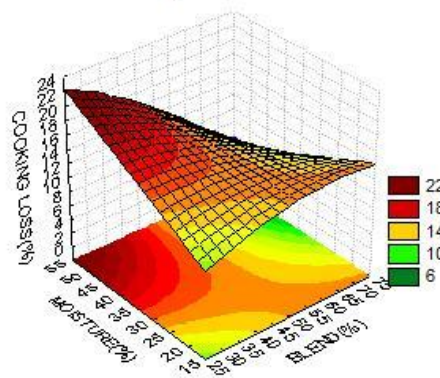


Figure 4. Response surfaces of the effect of moisture and millet/chickpea ratio on the quality paste properties: weight, bulk density and cooking time.

The instrumental texture of pasta after cooking was determined by measuring hardness, adhesiveness, cohesiveness, elasticity, chewiness and resilience. The mathematical models presented coefficient of determination greater than 0.91, indicating a good fit of the experimental data. The treatments did not differ from each other ($p > 0.05$) for any of the texture responses, showing that the variables processing moisture content and millet/chickpea proportion, in the experimental studied range did not affect the texture of the pasta (data not shown).

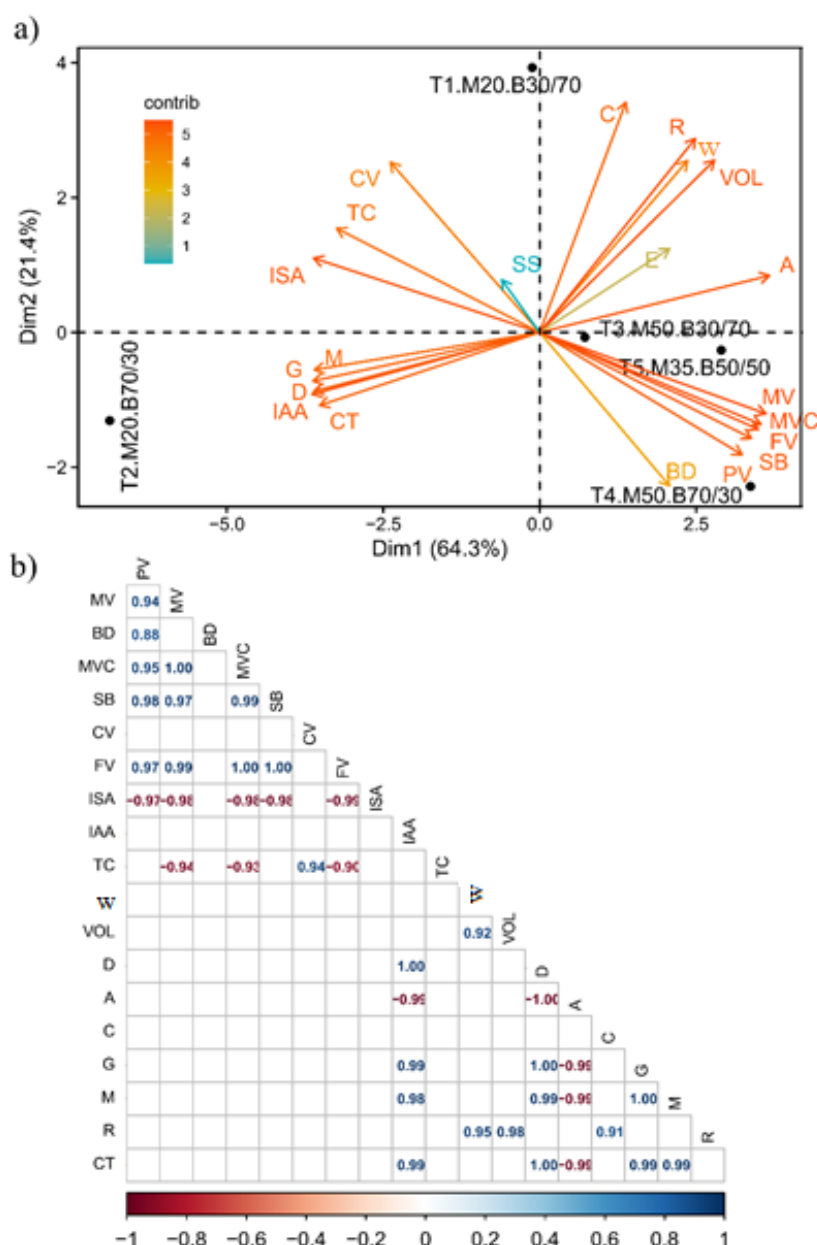


Figure 5. Multivariate analysis of extruded flours and pasta without addition of Tgase (a) main component analysis PCA- Biplo; and (b) correlogram. ISA: water solubility index (%); IAA: water absorption index (g water/g sample); PV: peak viscosity (cP); MV: minimum viscosity after heating (cP); BD: breakdown or breakdown of viscosity (cP); SB: setback or tendency to retrogradation (cP); CV: initial viscosity (cP); W: weight MVC: maximum viscosity during cooling; FV: final paste viscosity (cP). TC: cooking time (min); VOL: increase in bulk of pasta (%); SS: cooking loss (%); D: Hardness (N); A: adhesiveness; E: elasticity; C: cohesiveness; G: gumminess; M: chewiness; R: resilience.

Optimization of pasta production

In order to optimize the extrusion process to obtain pre-cooked flour for the preparation of pasta, the technological performance of the cooked product was considered. The ideal pre-cooked millet and chickpea pasta would be the one with a higher value in bulk density, lower cooking time and, lower soluble solids content. Based on these criteria, the pasta that meet the aforementioned

restrictions was the one with 54% millet and 46% chickpea processed at 36% moisture. At these conditions, the predictive value for the overall desirability of pasta was 68%, which was the one chosen to be added of Tgase.

Technological characterization of pasta with added Tgase

The results for cooking time, increase in weight and bulk and the cooking loss of pasta prepared with the addition of enzyme ranged from 3 to 3.17 min, 88 to 111%, 90 to 172% and 8.8 to 15%, respectively (Table 3). The models presented R^2 greater than 82%, showing that they adjusted well to the experimental data. The TC was influenced by the negative linear effect of Tgase, by the interaction of factors and by the positive linear effect of incubation (Figure 6). As the Tgase concentration increases along with the interaction with the incubation time, the TC is smaller. The TC according to Cruz & Soares (CRUZ; SOARES, 2004) is a function of the cohesion of the pasta, by the interaction of the proteins and the present starch. Enzyme-catalyzed cross-linking strengthened the protein network, making it more cohesive, but decreasing protein-starch interactions, making the starch more available for water absorption, thus leading to faster cooking. The negative linear effect of incubation exerted a significant influence on weight gain and the interaction effect influenced bulk increase ($p \leq 0.05$). For weight, the bulk response would have a cumulative Tgase effect, with more crosslinks between proteins being formed if the enzyme has more time to act, as observed in the experiment for bread doughs in the work of Gerrard et al. (1998), in addition to being able to be associated with greater water retention provided by the presence of Tgase (HUANG et al., 2010). The cooking loss was influenced by the linear effect of adding Tgase ($p \leq 0.05$) (Figure 6), indicating that cross-linking between protein chains (by Tgase) may have decreased protein-starch interactions, resulting in greater starch leaching into the cooking water and where the incubation time was longer, a decrease in weight gain was found. A high value of cooking loss is not desirable, not only because of the loss of product yield, but also because it results in a baked product with a sticky surface, which affects the sensory aspects (SHIAU; CHANG, 2013).

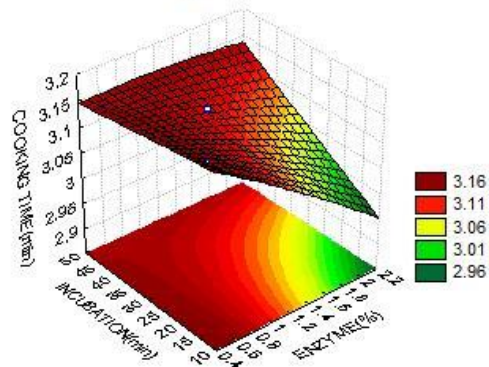
Table 3. Cooking test of pasta with and without Tgase and a commercial product.

Test	Independent variables		dependent variables												
	Tgase content (%)	Incubation time (min)	CT	W	VL	SS	D	A	E	C	G	M	R	CT	
Tg1	0.50	15	3.17	111	172	11.5	1.01	-0.36	1.01	0.73	0.71	0.727	0.40	2.50	
Tg2	2.00	15	3.00	109	90	13.6	0.95	-0.22	1.07	0.72	0.66	0.675	0.30	2.41	
Tg3	0.50	45	3.15	88	102	8.8	1.00	-0.37	0.96	0.72	0.74	0.736	0.30	2.53	
Tg4	2.00	45	3.12	92	133	15.2	0.72	-0.34	0.98	0.64	0.46	0.459	0.30	2.20	
Rg5	1.25	35	3.12	101	100	11.7	0.69	-0.10	0.98	0.73	0.51	0.553	0.40	1.85	
Tg6	1.25	35	3.13	108	114	12.6	0.91	-0.56	1.01	0.73	0.66	0.635	0.40	1.80	
Tg7	1.25	35	3.12	107	96	11.6	0.89	-0.83	0.94	0.74	0.66	0.640	0.40	2.12	
Control*			4.00	118	189	14.5	0.90	-0.30	1.02	0.75	0.68	0.70	0.43	3.21	
Commercial**			11.20	125	122	2.24	5.96	1.22	1.00	0.80	5.50	5.92	0.60	6.00	

TC: cooking time (min); W: weight; VL: increase in bulk of pasta (%); SS: cooking loss (%); D: hardness (N); A: adhesiveness; E: elasticity; C: cohesiveness; G: gumminess; M: chewiness; A: resilience; CT: cut; *without enzyme; **based on rice.

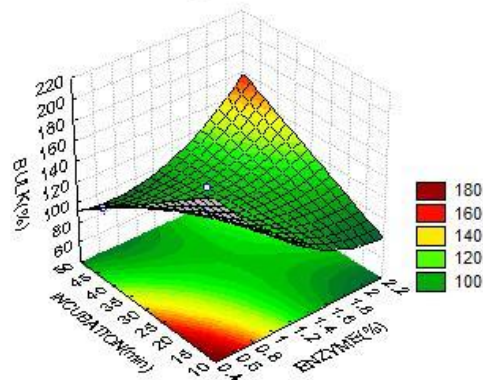
$$\text{COOKING TIME} = 3,25 - 0,1377 * \text{enzyme} - 0,0088 * \text{enzyme}^2 - 0,0022 * \text{incubation} + 0,0031 * \text{enzyme} * \text{incubation}$$

R adj=0,9887



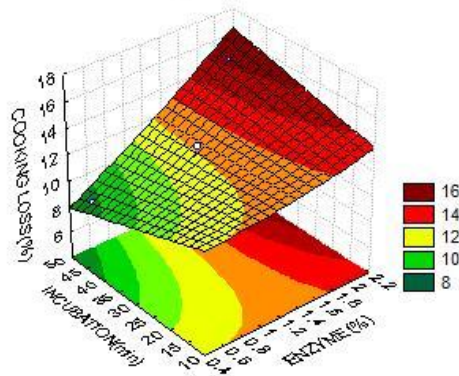
$$\text{BULK} = 286,35 - 175,29 * \text{enzyme} + 33,1851 * \text{enzyme}^2 - 3,58 * \text{incubation} + 2,51 * \text{enzyme} * \text{incubation}$$

R adj=0,8917



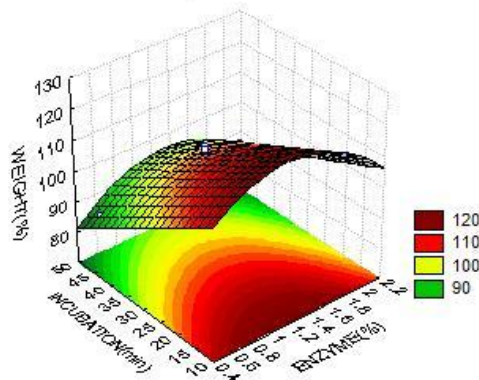
$$\text{COOKING LOSS} = 13,25 - 0,9962 \cdot \text{enzyme} + 0,3851 \cdot \text{enzyme}^2 - 0,1377 \cdot \text{incubation} + 0,0955 \cdot \text{enzyme} \cdot \text{incubation}$$

R adj=0,9233



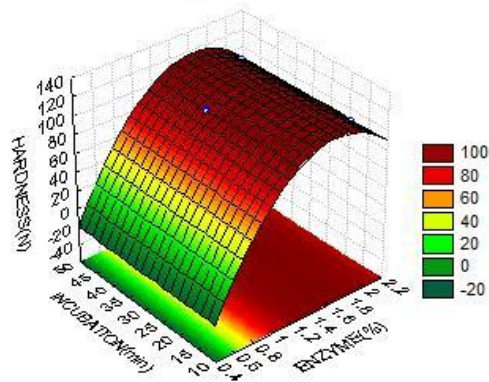
$$\text{WEIGHT} = 108,75 + 35,18 \cdot \text{enzyme} - 15,40 \cdot \text{enzyme}^2 - 0,8333 \cdot \text{incubation} + 0,1333 \cdot \text{enzyme} \cdot \text{incubation}$$

R adj=0,82356



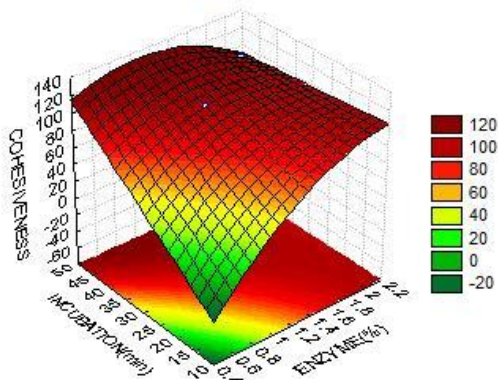
$$\text{HARDNESS} = -122,73 + 291,78 \cdot \text{enzyme} - 88,58 \cdot \text{enzyme}^2 + 0,0108 \cdot \text{incubation} - 0,0221 \cdot \text{enzyme} \cdot \text{incubation}$$

R adj=0,9996



$$\text{COHESIVINESS} = -134,89 + 187,53 \cdot \text{enzyme} - 35,04 \cdot \text{enzyme}^2 + 4,47 \cdot \text{incubation} - 2,20 \cdot \text{enzyme} \cdot \text{incubation}$$

R adj=0,9993



$$\text{RESILIENCE} = -136,96 + 189,85 \cdot \text{enzyme} - 35,43 \cdot \text{enzyme}^2 + 4,53 \cdot \text{incubation} - 2,23 \cdot \text{enzyme} \cdot \text{incubation}$$

$$R \text{ adj} = 0,9993$$

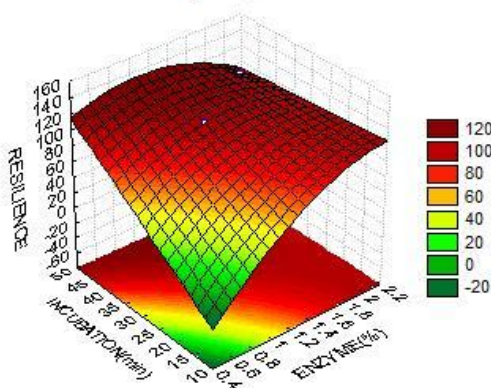


Figure 6. Response surfaces of the effect of enzyme concentration and incubation time on cooking quality and texture attributes of whole grain millet and chickpea blend pasta

Regarding the texture properties, hardness, cohesiveness and resilience showed significant effects ($p \leq 0.05$). Hardness relates to the force within the mouth required to compress a substance between the molar teeth or between the tongue and palate. Values ranged from 0.6 to 1.0 N and were highly influenced by linear and quadratic effects of enzyme addition. Cohesion and resilience were significantly affected by all variables studied. Cohesiveness is defined as the force that keeps the dough intact, and affects the chewiness of the pasta (OJUKWU et al., 2020), and resilience indicates the product's ability to recover after applying force. Values for cohesiveness ranged from 0.6 to 0.7 and for resilience from 0.3 to 0.4 (Table 3). For these responses, all factors were significant ($p \leq 0.05$), with the incubation time factor being more expressive. In added doughs containing Tgase, cross-linking promoted by the enzyme produces a stronger protein network and encloses the starch, thus helping to limit excessive water absorption during cooking, which contributes to lower solubility, more bulk and weight of the dough (YEOH et al., 2011). Figure 7 shows the high correlation (values closer to 1 indicate high correlation and values in red indicate inversely proportional correlation) between cooking properties and pasta texture. Higher concentrations of Tgase, in general, improved the cooking properties since they reduced the cooking time, and increased the weight and bulk of the pasta, except for the loss of solids in water, which was higher. This characteristic negatively affects the textural properties of the pasta. Behaviors similar to these were found in fiber-enriched pasta (SISSONS et al., 2010). In addition, extrusion may have contributed to the reduction of the available lysine (VALIM; BATISTUTI, 2000) thus reducing the power of action of the enzyme in the pasta.

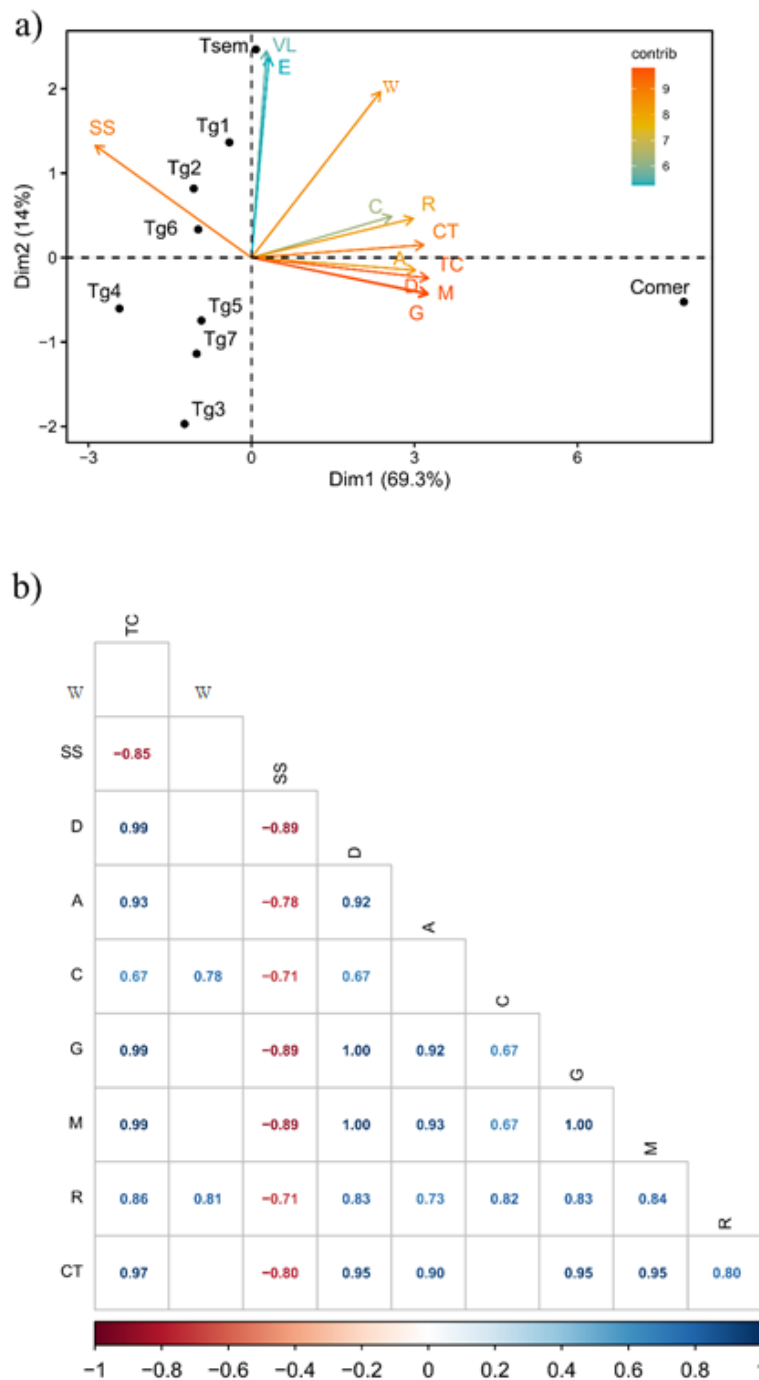


Figure 7. Multivariate analyzes of pasta with Tgase: (a) main component PCA-Biplo analysis and (b) correlogram. TC: cooking time (min); w: weight; VL: pasta bulk increase (%); SS: cooking loss (%); D: hardness (N); A: adhesiveness; E: elasticity; C: cohesiveness; G: gumminess; W: Weight; M: chewiness; A: resilience.

Protein digestibility of pasta

Protein digestibility is measured by the amount of protein hydrolyzed by digestive enzymes to amino acids, therefore available for absorption as amino acids by the animal or human body (PIRES et al., 2006). Digestibility is the first factor that reflects the efficiency of protein utilization in the diet, which is a condition for defining its nutritional quality. Table 4 shows the values of soluble protein concentrations and tyrosine content of pasta evaluated after in vitro digestion, where Tg3 has 54% millet, 46% chickpea, 0.5% Tgase with an incubation time of 45 min, Tsem no enzyme was added and commercial pasta of brown rice. The results referring to the quantification of soluble proteins evaluated in the supernatant of the matrices tested after digestion did not differ significantly from each other ($p > 0.05$), but showed that when compared with the commercial pasta, the pasta without Tgase presented 3.3% the more soluble protein, in the pasta with Tgase this increase was 9.5%. Quantifying the tyrosine content when compared with the commercial pasta, the pasta without Tgase presented 24% more tyrosine content, in the pasta with Tgase this increase was 22%. The determination of tyrosine refers to the amino acids that are being “released” from the protein structure during the digestion process, indicating the action of proteolytic enzymes in the reaction system (GOODWIN; MORTON, 1946). Based on this information, the greater protein digestibility of the extruded product is confirmed, as already explored in the literature (CHEFTEL, 1986; COMETTANT-RABANAL et al., 2021; DE MESA et al., 2012). Several recent studies have reported the role of TG application in reducing protein digestibility (GLUSAC, et al., 2020; ROMANO et al., 2016), while other research have shown opposite results (HAVENAAR et al., 2013; ROMANO et al., 2019).

Table 4. Soluble protein content and tyrosine content after digestion of pasta.

Samples	Soluble proteins (mg/ mL)	Tyrosine content (mg/ mL)
Tg3	0.264 ± 0.03^a	0.338 ± 0.00^a
Tsem	0.249 ± 0.01^a	0.344 ± 0.01^b
Commercial	0.241 ± 0.00^a	0.227 ± 0.05^c

Tg3: better pasta with Tgase; Tsem: pasta without Tgase of the optimization blends; Commercial: commercial brown rice pasta; different letters in the same column represent statistically different values ($p \leq 0.05$) by Tukey's test for paired samples.

Conclusions

The quality of the pasta produced, it was possible to obtain products from pre-cooked pearl millet flour and chickpea flour with low cooking time, twice as much weight and volume gain and cooking losses, desirable parameters for dry pasta. As for the texture characteristics, the enzyme

provided improvements in the hardness and cohesion of the dough, but it could be better with the use of specific transglutaminase for pasta already on the market. Extrusion cooking improved the water absorption capacity of whole grain flours allowing them to approximate the viscoelastic properties of a gluten network, however, it may have reduced the availability of lysine by the maillard reaction, which may have reduced the Tgase action potential. From a nutritional point of view, chickpea-pea millet pasta showed excellent nutritional quality, with a higher protein content (more than 12 g/100 g). As for digestibility, there was no significant difference in the soluble protein content, and as for amino acids, millet and chickpea pasta showed higher values than commercial pasta.

Acknowledgment

The authors would like to thank FAPERJ for financial support, CAPES for the scholarship awarded to Rafaella Torres Batista and CNPq for the scholarships awarded to Carlos WP Carvalho and André Leonardo dos Santos.

References

(USDA), U. S. D. O. A. *National Nutrient Database for Standard Reference*. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nt_edit.pl>.

AACC. *AACC Approves New Dietary Fiber Definition*. Disponível em: <<https://www.cerealsgrains.org/initiatives/definitions/Documents/DietaryFiber/Fiberpr.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

ABDALLA, A., MUSTAFA, G. Some Physical and Functional Properties of Grain and Products of Pearl Millet. *University of Kordofan Journal of Natural Resources and Environmental Studies*, n. 1, p. 47–53, 2014.

ABIMAPI. *ABIMAPI | Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados*. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/anuario.php>>. Acesso em: 16 out. 2020a.

ABIMAPI. *ABIMAPI | Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados*. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/estatisticas-massas-alimenticias.php>>. Acesso em: 27 jan. 2021b.

ACELBRA. *Associação dos celíacos do Brasil*. Disponível em: <<http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

ADIL GANI ; WANI, S. ; M. *Compostos bioativos de cereais integrais e seus benefícios à saúde: uma revisão*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/globalhealth/abstract/20133129423>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

AKANBI, T. O.; TIMILSENA, Y.; DHITAL, S. Bioactives from Millet: Properties and Effects of Processing on Bioavailability. In: *Bioactive Factors and Processing Technology for Cereal Foods*. [s.l.] Springer Singapore, 2019. p. 171–183.

ALAM, M. S. et al. Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 56, n. 3, p. 445–473, 17 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2013.779568>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

ALLEN, B.; ORFILA, C. The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta. *Nutrients*, v. 10, n. 10, p. 1370, 25 set. 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-6643/10/10/1370>>. Acesso em: 22 set. 2020.

AMADOU ET AL. Millet-based Traditional Processed Foods and Beverages—A Review. *Cereal Foods World*, v. 56, p. 115–121, 2011.

AMBIEDO, F. T. *Fábricas de massas alimentícias do imigrante italiano José Pappalardo, Porto Alegre (1932-1968)*. 2018. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ANDERSON, R.; CONWAY, H.; PFEIFER, VF E GRIFFIN, E. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, v. 14, p. 4–12, 1969.

ANNOR, G. A. et al. Effects of the amount and type of fatty acids present in millets on their in vitro starch digestibility and expected glycemic index (eGI). *Journal of Cereal Science*, v. 64, p. 76–81, 1 jul. 2015.

ANVISA. *Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar*. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2012/anexo/anexo_rdc0054_12_11_2012.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2022.

ANVISA. *Ministério da Saúde*. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2000/rdc0014_21_02_2000.html>. Acesso em: 15 out. 2020.

ARRIBAS, C. et al. Extrusion effect on proximate composition, starch and dietary fibre of ready-to-eat products based on rice fortified with carob fruit and bean. *LWT*, v. 111, p. 387–393, 1 ago. 2019.

ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C. W. . Apostila do curso anual em processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano e animal. p. 100, 2011.

AWOLU, O. O. Optimization of the functional characteristics, pasting and rheological properties of pearl millet-based composite flour. *Heliyon*, v. 3, n. 2, 1 fev. 2017. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28203644/>>. Acesso em: 19 out. 2020.

BASSI, M. A. et al. *Effect of Process Parameters on Slowly Digestible and Resistant Starch Content in Extrudates* *Nature*, 2020. .

BESSADA, S. M. F.; BARREIRA, J. C. M.; OLIVEIRA, M. B. P. P. *Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties* *Trends in Food Science and Technology* Elsevier Ltd, , 1 nov. 2019. .

BILGIÇLI, N.; IBANOĞLU, S. Effect of milled lupin products and transglutaminase on some properties of noodle. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, v. 7, n. 2, p. 89–95, 31 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.3920/QAS2013.0254>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 7 maio 1976. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/942051/>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

BRAHMBHATT, S. R. et al. Study of biochemical prevalence indicators for the assessment of iodine deficiency disorders in adults at field conditions in Gujarat (India). *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, v. 10, n. 1, p. 51–57, 2001. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11708609/>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

BRASIL. SAÚDE, M. da S. S. de A. à. Guia alimentar para população brasileira: promovendo a alimentação saudável. *Brasília: Ministério da Saúde*, n. 1, 2008.

BRASIL. SAÚDE, M. da S. S. de A. à. Guia alimentar para a população brasileira. n. 2, 2014.

BRASIL. Glossário temático: alimentação e nutrição. *Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva*, n. 2, 2013.

BRASIL. Alimentos à base de cereais integrais: documento de base para discussão regulatória. *Agência de Vigilância Sanitária. Gerência-Geral de Alimentos. AnVISA*, 2018.

BRESCIANI, A. et al. *Molecular features and cooking behavior of pasta from pulses* *Cereal Chemistry*, 2022. .

BRITES, L. T. G. F.; SCHMIELE, M.; STEEL, C. J. Gluten-Free Bakery and Pasta Products. In: *Alternative and Replacement Foods*. [s.l.] Elsevier, 2018. 17p. 385–410.

BRODKORB, A. et al. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, v. 14, n. 4, p. 991–1014, 2019.

BVS. *Alimento integral*.

CAIO, G. et al. Celiac disease: A comprehensive current review. *BMC Medicine*, v. 17, n. 1, p. 1–20, 2019.

CARVALHO, C. W. P. et al. Relative effect of particle size on the physical properties of corn

meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. *Journal of Food Engineering*, v. 98, n. 1, p. 103–109, 1 maio 2010.

CECILIO, L. A.; BONATTO, M. W. THE PREVALENCE OF HLA DQ2 AND DQ8 IN PATIENTS WITH CELIAC DISEASE, IN FAMILY AND IN GENERAL POPULATION. Prevalência do HLA DQ2 e DQ8 em pacientes portadores da doença celíaca, nos seus familiares e na população geral. *ABCD Arq Bras Cir Dig Original Article*, v. 28, n. 3, p. 183–185, 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=410480>>. Acesso em: 4 jan. 2021.

CHANDRASEKARA, A.; SHAHIDI, F. Bioactivities and antiradical properties of millet grains and hulls. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 17, p. 9563–9571, 14 set. 2011. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf201849d>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, v. 20, n. 4, p. 263–283, 1986.

COMETTANT-RABANAL, R. et al. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112042>>. Acesso em: 28 set. 2022.

CORNEJO-RAMÍREZ, Y. I. et al. The structural characteristics of starches and their functional properties. *CyTA-Journal of Food*, v. 16, n. 1, p. 1003–1017, 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tcyt20>>. Acesso em: 28 set. 2022.

CORTÉS-GIRALDO, I. et al. Purification of free arginine from chickpea (*Cicer arietinum*) seeds. *Food Chemistry*, v. 192, p. 114–118, 8 jul. 2016.

CRUZ, R. S.; SOARES, N. D. F. F. Efeito da adição de CO₂ nas características tecnológica e sensorial do macarrão massa fresca tipo talharim. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 4, p. 848–855, ago. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/cagro/a/sxCLqhKsxwH6qC7m4qrjVHP/?lang=pt>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

DALE, H. F.; BIESIEKIERSKI, J. R.; LIED, G. A. Non-coeliac gluten sensitivity and the spectrum of gluten-related disorders: an updated overview. *Nutrition Research Reviews*, v. 32, n. 1, p. 28–37, 1 jun. 2019. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30009718/>>. Acesso em: 28 out. 2020.

DE LIMA, B. R.; BOTELHO, R. B. A.; ZANDONADI, R. P. Gluten-Free Pasta: Replacing Wheat with Chickpea. *Journal of Culinary Science and Technology*, v. 17, n. 1, p. 1–8, 2 jan. 2019.

DE MARIA, C. A. B.; MOREIRA, R. F. A. A intrigante bioquímica da niacina - Uma revisão crítica. *Química Nova*, v. 34, n. 10, p. 1739–1752, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011001000007&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 14 out. 2020.

DE MESA-STONESTREET, N. J.; ALAVI, S.; GWIRTZ, J. Extrusion-enzyme liquefaction

as a method for producing sorghum protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, v. 108, n. 2, p. 365–375, 2012.

DE MESA, N. J. E. et al. Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, v. 90, n. 2, p. 262–270, 1 jan. 2009.

DIAS-MARTINS, A. M. et al. Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, v. 109, n. April, p. 175–186, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>>.

DIAS-MARTINS, A. M. et al. Impacts of ohmic heating on decorticated and whole pearl millet grains compared to open-pan cooking. *Journal of Cereal Science*, v. 85, p. 120–129, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.11.007>>.

DIAS MARTINS, A. M. Qualidade Nutricional E Funcional De Grãos De. n. L, 2019.

DONGHONG, L. et al. Effect of Transglutaminase on the Quality of Gluten-free Grain Steamed Buns. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1, *Anais...*Institute of Physics Publishing, 17 jun. 2020. Disponível em: <<https://iopscience.iop.ez30.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1755-1315/512/1/012066>>. Acesso em: 29 jan. 2021.

DOSTALOVA, K. et al. P009: Coeliac disease in seniors – case report. *European Geriatric Medicine*, v. 5, p. S85–S86, 1 set. 2014.

EL-SOHAIFY, S. A. et al. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 65, n. 1, p. 28–34, 1 jun. 2020a. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0570178320300233>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

EL-SOHAIFY, S. A. et al. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. *Annals of Agricultural Sciences*, v. 65, n. 1, p. 28–34, 1 jun. 2020b.

EMBRAPA. *Cultivo do Milheto*. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao_lf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=8101&p_r_p_-996514994_topicoId=9018>. Acesso em: 14 jan. 2021.

EMBRAPA. *Cereais e grãos*.

FAO. (No Title). Disponível em: <<http://www.fao.org/es/faodef/fdef04e.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

FAO. 2016 – Ano internacional das leguminosas | 2016 International Year of Pulses. Disponível em: <<http://www.fao.org/pulses-2016/blog/ano-internacional-leguminosas/en/>>. Acesso

em: 21 nov. 2020.

FAO. *Crop Prospects and Food Situation #3, September 2020*. 3. ed. [s.l.] FAO, 2020.

FAOSTAT. *Food and agriculture data* Rome: FAO, 2019. .

FAOSTAT. FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 8 out. 2020.

FASANO, A. et al. *Federation of international societies of pediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition consensus report on celiac disease* *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* J Pediatr Gastroenterol Nutr, , ago. 2008. . Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18664878/>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

FÉLIX-MEDINA, J. V. et al. Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT*, v. 124, p. 109172, 1 abr. 2020.

FELLOWS, P. J. *Extrusão. In: Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Prática*. 2ª Edição ed. Porto Alegre: Artmed Editora, S.A, 2006.

FELLOWS, P. J. Extrusion cooking. In: *Food Processing Technology*. [s.l.] Elsevier, 2017. p. 753–780.

FENACELBRA. *Doença Celíaca*. Disponível em: <<http://www.fenacelbra.com.br/fenacelbra/>>. Acesso em: 28 out. 2020.

FERREIRA, F.; INÁCIO, F. *Patologia associada ao trigo: Alergia IgE e não IgE mediada, doença celíaca, hipersensibilidade não celíaca, FODMAP Pathology associated with wheat*. [s.l: s.n.].

FERREIRA, S. M. R. et al. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. *Food Chemistry*, v. 191, p. 147–151, 11 ago. 2016.

FRØLICH, WENCHE; ÅMAN, PER; TETENS, I. Whole grain foods and health – a Scandinavian perspective. *Food & Nutrition Research*, v. 57, n. 1, p. 18503–18510, 2013.

FSANZ. *Whole grain food*. Disponível em: <<https://www.foodstandards.gov.au/consumer/nutrition/wholegrain/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 22 maio. 2022.

GAITAN, E. et al. Antithyroid and Goitrogenic Effects of Millet: Role of C-Glycosylflavones*. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, v. 68, n. 4, p. 707–714, 1 abr. 1989. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jcem/article-lookup/doi/10.1210/jcem-68-4-707>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

GERRARD, J. A. et al. Dough properties and crumb strength of white pan bread as affected by microbial transglutaminase. *Journal of food science (USA)*, v. 63, p. 472–475, 1998.

GLUSAC, J., ISASCHAR-OVDAT, S., & FISHMAN, A. Transglutaminase modifies the physical stability and digestibility of chickpea protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, v. 315, p. 126–301, 2020.

GOODWIN, T. W.; MORTON, R. A. The spectrophotometric determination of tyrosine and tryptophan in proteins. *The Biochemical journal*, v. 40, n. 5–6, p. 628–632, 1946. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16748065/>>. Acesso em: 2 dez. 2022.

GUERREIRO, L. *Dossiê Técnico de Massas Alimentícias*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

GUJSKA, E.; KHAN, K. Functional Properties of Extrudates from High Starch Fractions of Navy and Pinto Beans and Corn Meal Blended with Legume High Protein Fractions. *Journal of Food Science*, v. 56, n. 2, p. 431–435, 1 mar. 1991.

GUO, J.; ZHANG, Y.; YANG, X.-Q. A novel enzyme cross-linked gelation method for preparing food globular protein-based transparent hydrogel. 2012.

GUSMÃO, T. A. S. et al. Production of prebiotic gluten-free bread with red rice flour and different microbial transglutaminase concentrations: modeling, sensory and multivariate data analysis. *Journal of Food Science and Technology*, v. 56, n. 6, p. 2949–2958, 1 jun. 2019.

HARPER, J. M. *Food Extrusion*. 1979.

HASSAN, Z. M.; SEBOLA, N. A.; MABELEBELE, M. The nutritional use of millet grain for food and feed: a review. *Agric & Food Secur*, v. 10, p. 16, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>>.

HAUCK, B. W. *Choosing an extruder*. London: Sterling Publications International, 1993.

HAVENAAR, R., DE JONG, A., KOENEN, M. E., VAN BILSEN, J., JANSSEN, A. M., LABIJ, E., & WESTERBEEK, H. J. M. Digestibility of transglutaminase cross-linked caseinate versus native caseinate in an in vitro multicompartamental model simulating young child and adult gastrointestinal conditions. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, v. 61, n. 31, p. 7636–7644, 2013.

HUANG, W. et al. Effects of transglutaminase on the rheological and Mixolab thermomechanical characteristics of oat dough. *Food Chemistry*, v. 121, n. 4, p. 934–939, 2010.

HUMMEL, C. *Macaroni products: manufacture processing and packing*. 2º ed. London: Food Trade Press, 1966.

IBRAFE. *O que são Pulses? - IBRAFE - Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses*. Disponível em: <<https://www.ibrafe.org/o-que-sao-pulses/>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

IBRAFE. *IBRAFE – Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ibrafe.org/>>. Acesso em: 4 jan. 2021.

IDEC. *Integral, só que não*. 205. Disponível em: <c.org.br/em-acao/revista/da-para-achar-o-caminho/materia/integral-so-que-no>. Acesso em: 29 maio. 2022.

IDEC. *Quanto mais integral, melhor*. Disponível em: <https://idec.org.br/em-acao/revista/dificil-de-renegociar/materia/quanto-mais-integral-melho>. Acesso em: 29 maio. 2022.

JALGAONKAR, K.; JHA, S. K. Influence of particle size and blend composition on quality of wheat semolina-pearl millet pasta. *Journal of Cereal Science*, v. 71, p. 239–245, 1 set. 2016.

JALGAONKAR, K.; JHA, S. K.; MAHAWAR, M. K. Influence of incorporating defatted soy flour, carrot powder, mango peel powder, and moringa leaves powder on quality characteristics of wheat semolina-pearl millet pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 42, n. 4, p. e13575, 1 abr. 2018. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.13575>. Acesso em: 16 ago. 2020.

JUKANTI, A. K. et al. Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, v. 108, n. SUPPL. 1, p. S11–S26, ago. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007114512000797>. Acesso em: 19 nov. 2020.

KAPPES, M. C. et al. Estudo das propriedades de pasta de diferentes genótipos de cevada. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado/RS. *Anais...* Gramado/RS: 2016.

KIELISZEK, M.; MISIEWICZ, A. *Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review* *Folia microbiologica* *Folia Microbiol* (Praha), , 1 maio 2014. . Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24198201/>. Acesso em: 21 nov. 2020.

KIM, Y. et al. Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase. *Food Chemistry*, v. 145, p. 409–416, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24128496/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

KNIGHTS, E. J.; HOBSON, K. B. Chickpea: Overview. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. [s.l.] Elsevier Inc., 2015. 1–4p. 316–323.

KOEHLER, P.; WIESER, H.; SCHERF, K. A. Celiac Disease. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. [s.l.] Elsevier Inc., 2015. 2–4p. 83–90.

KOVÁCS, E. T. Use of enzyme transglutaminase for developing pasta products with high quality. In: Proceedings of 3rd International Congress FLOUR-BREAD 2005 - 5th Croatian Congress of Cereal Technologists, *Anais...* Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Food Technology Osijek, Department of Cereal Processing Technology, 1 jan. 2005.

LALEG, K. et al. How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT - Food Science and Technology*, v. 79, p. 471–478, 1 jun. 2017.

LEBWOHL, B.; RUBIO-TAPIA, A. *Epidemiology, Presentation, and Diagnosis of Celiac Disease* *Gastroenterology* W.B. Saunders, , 1 jan. 2021. .

LONNIE, M. et al. nutrients Protein for Life: Review of Optimal Protein Intake, Sustainable Dietary Sources and the Effect on Appetite in Ageing Adults. *Nutrients*, n. 10, p. 360, 2018. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/nutrients>.

LOPES-DA-SILVA, M. DE F. ; SANTOS, L. ; CHOUPINA, A. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. *Rev. de Ciências Agrárias*, p. 03–10, 2 mar. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2015000100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 31 jul. 2020.

LOPES-DA-SILVA, M. de F.; SANTOS, L.; CHOUPINA, A. A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 38, n. 1, p. 03–10, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2015000100002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 30 jun. 2020.

LU, H. et al. Millet noodles in Late Neolithic China. *Nature*, v. 437, n. 7061, p. 967–968, 13 out. 2005.

MACEDO, J.; SATO, H. PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DA TRANSGLUTAMINASE MICROBIANA EM ALIMENTOS*. v. 16, p. 413–419, 2006.

MAPA, M. da A. P. e A. Plano Nacional de Desenvolvimento da Cadeia do Feijão e Pulses. p. 1–43, 2018. Disponível em: <<http://www.feijaoepulses.agr.br/assets/plano-nacional-feijao-e-pulses-pdf-final.pdf>>.

MARTI, A. et al. Cooking behavior of rice pasta: Effect of thermal treatments and extrusion conditions. *LWT - Food Science and Technology*, v. 54, n. 1, p. 229–235, 2013.

MARTI, A.; PAGANI, M. A.; SEETHARAMAN, K. Understanding starch organisation in gluten-free pasta from rice flour. *Carbohydrate Polymers*, v. 84, n. 3, p. 1069–1074, 2011.

MATHEWS, REBECCA; CHU, Y. Global review of whole grain definitions and healthclaims. *Nutrition Reviews*, v. 78, n. 1, p. 98–106, 2020.

MENEGASSI, B.; LEONEL, M. ANÁLISES DE QUALIDADE DE UMA MASSA ALIMENTÍCIA MISTA DE MANDIOQUINHA-SALSA *Quality analysis of peruvian carrot mixed food pasta*Revista Raízes e Amidos Tropicais. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.cerat.unesp.br/revistarat>. Acesso em: 8 jan. 2021.

MERCIER, S. et al. A Meta-Analysis of Enriched Pasta: What Are the Effects of Enrichment and Process Specifications on the Quality Attributes of Pasta? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 15, n. 4, p. 685–704, jul. 2016.

MEZZOMO, T. R.; NADAL, J. EFEITO DOS NUTRIENTES E SUBSTÂNCIAS ALIMENTARES NA FUNÇÃO TIREOIDIANA E NO HIPOTIREOIDISMO. *DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde*, v. 11, n. 2, 22 fev. 2016.

MINGUITA, A. P. da S. et al. Produção e caracterização de massas alimentícias a base de alimentos biofortificados: Trigo, arroz polido e feijão carioca com casca. *Ciencia Rural*, v. 45, n. 10,

p. 1895–1901, 1 out. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140491>>. Acesso em: 14 jun. 2021.

MONNET, A. F. et al. *Legume enriched cereal products: A generic approach derived from material science to predict their structuring by the process and their final properties* *Trends in Food Science and Technology* Elsevier Ltd, , 1 abr. 2019. .

MUTHAMILARASAN, M. et al. Exploration of millet models for developing nutrient rich graminaceous crops. *Plant Science*, v. 242, p. 89–97, 22 abr. 2015.

N'DRI, D. et al. Effect of cooking on the total antioxidant capacity and phenolic profile of some whole-meal African cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 93, n. 1, p. 29–36, 15 jan. 2013. Disponível em: <<https://research.wur.nl/en/publications/effect-of-cooking-on-the-total-antioxidant-capacity-and-phenolic->>. Acesso em: 14 jan. 2021.

NONAKA, M.; MATSUURA, Y.; MOTOKI, M. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry Incorporation of Lysine-and Lysine Dipeptides into α s1-Casein by Ca²⁺-independent Microbial Transglutaminase. v. 60, n. 1, p. 131–133, 2014. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tbbb20>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

OJUKWU, M.; TAN, J. S.; EASA, A. M. Cooking, textural, and mechanical properties of rice flour-soy protein isolate noodles prepared using combined treatments of microbial transglutaminase and glucono- δ -lactone. *Journal of Food Science*, v. 85, n. 9, p. 2720–2727, 10 set. 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15357>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

ORMENESE, R. D. C. S. C.; CHANG, Y. K. MASSAS ALIMENTÍCIAS DE ARROZ: UMA REVISÃO. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 20, n. 2, 31 dez. 2002. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/1246>>. Acesso em: 8 jan. 2021.

OSMAN, M. A. Effect of traditional fermentation process on the nutrient and antinutrient contents of pearl millet during preparation of Lohoh. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 10, n. 1, p. 1–6, 1 jan. 2011.

PEREIRA FILHO, I. A. et al. Circular Técnica 29 - Manejo da cultura do milheto. n. L, p. 1–17, 2003. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/16182/1/Circ_29.pdf>.

PERES, A. P., WASZCZYNSKY, J. Farinha de casca de ovo: determinação do teor de cálcio biodisponível. *Visão Acadêmica*, v. 11, n. 1, p. 74–80, 2010.

PETITOT, M. et al. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, v. 43, n. 2, p. 634–641, 1 mar. 2010.

PIRES, C. V. et al. Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes protéicas. *Food Science and Technology*, v. 26, n. 1, p. 179–187, jan. 2006.

R. GERMANI, A. E.-D. *Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e soja*

na produção de massas alimentícias. [s.l.] Brasília, DF, EMBRAPA-SPI, 1994.

RALBOVSKY, N. M.; LEDNEV, I. K. Analysis of individual red blood cells for Celiac disease diagnosis. *Talanta*, v. 221, p. 121642, 1 jan. 2021.

REBELLO, C. J.; GREENWAY, F. L.; FINLEY, J. W. A review of the nutritional value of legumes and their effects on obesity and its related co-morbidities. *Obesity Reviews*, v. 15, n. 5, p. 392–407, 1 maio 2014a. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/obr.12144>>. Acesso em: 21 nov. 2020.

REBELLO, C. J.; GREENWAY, F. L.; FINLEY, J. W. *Whole grains and pulses: A comparison of the nutritional and health benefits* *Journal of Agricultural and Food Chemistry* American Chemical Society, , 23 jul. 2014b. . Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf500932z>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

RESEARCH, Z. M. *Market Intelligence Reports, Business Consulting Services and Solutions*. [s.l: s.n.].

RIBOTTA, P. D.; COLOMBO, A.; ROSELL, C. M. Enzymatic modifications of pea protein and its application in protein-cassava and corn starch gels. *Food Hydrocolloids*, v. 27, n. 1, p. 185–190, maio 2012.

RICHARDS, M. F. et al. Sowing Date Affects the Timing and Duration of Key Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Growth Phases. [s.d.]Disponível em: <www.mdpi.com/journal/plants>.

RINCON, L.; BRAZ ASSUNÇÃO BOTELHO, R.; DE ALENCAR, E. R. Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *Lwt*, v. 128, n. April, p. 109479, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109479>>.

ROMANO, A. et al. Impact of transglutaminase treatment on properties and in vitro digestibility of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *FRIN*, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.02.014>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ROMANO, A. et al. Structure and in vitro digestibility of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour following transglutaminase treatment. v. 245, p. 1899–1905, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00217-019-03305-0>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ROSA-SIBAKOV, N. et al. Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT - Food Science and Technology*, v. 67, p. 27–36, 1 abr. 2016.

SÁVIO, F.; PEREIRA, G. *PROCESSOS TECNOLÓGICOS DE ALIMENTOS IFPE*, 2015. . Disponível em: <<http://www.eufic.org/article/pt/artid/X-rays-in-food-inspection/>>. Acesso em: 6 fev. 2021.

SCHERF, K. A. Immunoreactive cereal proteins in wheat allergy, non-celiac gluten/wheat sensitivity (NCGS) and celiac disease. *Current Opinion in Food Science*, v. 25, p. 35–41, 1 fev. 2019. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221479931830153X>>. Acesso em: 22

set. 2020.

SCHMIELE, M. et al. Massa alimentícia sem glúten com elevado teor proteico obtida por processo convencional Gluten-free pasta with high protein content obtained by conventional processing. *Ciência Rural*, 2013.

SCHOBER, T. J. et al. Gluten-free bread from sorghum: Quality differences among hybrids. *Cereal Chemistry*, v. 82, n. 4, p. 394–404, 2005.

SERNA-SALDIVAR, S. O.; ESPINOSA-RAMÍREZ, J. Grain structure and grain chemical composition. In: *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes*. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 85–129.

SHI, J. et al. *Saponins from Edible Legumes: Chemistry, Processing, and Health Benefits* Journal of Medicinal Food Mary Ann Liebert, Inc. , , 7 mar. 2004. . Disponível em: <<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/109662004322984734>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

SHIAU, S. Y.; CHANG, Y. H. Instrumental Textural and Rheological Properties of Raw, Dried, and Cooked Noodles with Transglutaminase. v. 16, n. 7, p. 1429–1441, 3 out. 2013.

SILVA, E. M. M. da; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R. Quality assessment of gluten-free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion. *LWT - Food Science and Technology*, v. 68, p. 698–706, 2016.

SILVA, H. A. et al. Role of chitosan and transglutaminase on the elaboration of gluten-free bread. *Journal of Food Science and Technology*, v. 57, n. 5, p. 1877–1886, 1 maio 2020.

SILVA, T. S. da G.; FURLANETTO, T. W. Diagnosis of celiac disease in adults. *Revista da Associacao Medica Brasileira*, v. 56, n. 1, p. 122–126, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42302010000100027&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 27 jan. 2021.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. Extrusion Processes for Foods. In: *Introduction to Food Engineering*. [s.l.] Elsevier, 2014. p. 743–766.

SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 42, n. 8, p. 916–929, 1 ago. 2007. Disponível em: <<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

SISSONS, M. Pasta. In: *Reference Module in Food Science*. [s.l.] Elsevier, 2016.

SISSONS, M.; ARAVIND, N.; FELLOWS, C. M. Quality of fiber-enriched spaghetti containing microbial transglutaminase. *Cereal Chemistry*, v. 87, n. 1, p. 57–64, jan. 2010.

SOFIA DA SILVA, A.; ORIENTADO, M.; FIGUEIREDO, A. *Avaliação do consumo de leguminosas na Eurest Portugal, Lda. Evaluation of the consumption of legumes in Eurest Portugal, Lda*. [s.l.: s.n.].

SPARVOLI, F. et al. Exploitation of Common Bean Flours with Low Antinutrient Content for Making Nutritionally Enhanced Biscuits. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 928, 27 jun. 2016. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpls.2016.00928/abstract>>. Acesso em: 18 nov. 2020.

STEFFOLANI, M. E. et al. Use of Enzymes to Minimize Dough Freezing Damage. *Food and Bioprocess Technology*, v. 5, n. 6, p. 2242–2255, ago. 2012.

SWEDEN, S. N. F. A. Swedish dietary guidelines - risk and benefit management report. *Swedish National Food Agency*, 2015.

TAKÁCS, K. et al. Use of the enzyme transglutaminase for developing glutenfree noodle products from pea flour. *Acta Alimentaria*, v. 36, n. 2, p. 195–205, jun. 2007.

TAN, BIN; WU, NA-NA; ZHAI, X.-T. Solutions for whole grain food development. *Nutrition Reviews*, v. 78, n. 1, p. 61–68, 2020.

TAYLOR, J. R. N. Millet Pearl: Overview. In: *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*. [s.l.] Elsevier Inc., 2015. 1–4p. 190–198.

TEBA, C. da S.; LUIS RAMIREZ ASCHERI, J.; WANDERLEI PILER DE CARVALHO, C. EFEITO DOS PARÂMETROS DE EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES DE PASTA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS PRÉ-COZIDAS DE ARROZ E FEIJÃO*. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, v. 20, n. 3, p. 411–426, 2009.

THOMPSON, T. et al. Gluten-free diet survey: Are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods? *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, v. 18, n. 3, p. 163–169, jun. 2005. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15882378/>>. Acesso em: 8 jan. 2021.

THUSHAN SANJEEWA, W. G. et al. Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, v. 43, n. 2, p. 617–626, mar. 2010. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996909002166>>. Acesso em: 6 jan. 2021.

TIWARI, A. et al. Effect of Pre-Milling Treatments on Storage Stability of Pearl Millet Flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 38, n. 3, p. 1215–1223, 1 jun. 2014. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jfpp.12082>>. Acesso em: 14 out. 2020.

U.S., U. S. O. A. D. of H. and H. S. U. S. D. of A. Dietary Guidelines for Americans. *Maryland: Department of Health, Human Services. U.S. Department of Agriculture*, n. 8, 2015.

VALIM, M. F. C. F. de A.; BATISTUTI, J. P. Efeito da extrusão termoplástica no teor de lisina disponível da farinha desengordurada de grão-de-bico (*Cicer arietinum*, L.). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, v. 50, n. 3, p. 270–273, 2000. Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 22 dez. 2022.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. *Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces*. 2013. 2013.

VIOLETTE, CATHERINE; KANTOR, MARK A.; FERGUSON, KATHARINE; REICKS, MARLA; MARQUART, LEN; LAUS, MARY JANE; COHEN, N. Package Information Used by Older Adults to Identify Whole Grain Foods. *Journal of Nutrition in Gerontology and Geriatrics*, v. 35, n. 2, p. 146–160, 2016.

VIVAS, B. M. *DEVELOPMENT OF GLUTEN-FREE BREAD FORMULATIONS*. [s.l.: s.n.].

WANG, S. et al. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 14, n. 5, p. 568–585, 1 set. 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12143>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

WÓJTOWICZ, A.; MOŚCICKI, L. Influence of extrusion-cooking parameters on some quality aspects of precooked pasta-like products. *Journal of Food Science*, v. 74, n. 5, 2009.

WOOMER, J. S.; ADEDEJI, A. A. *Current applications of gluten-free grains—a review* *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* Taylor and Francis Inc., , 2020. . Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31965815/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

WRIGLEY, C. W. Cereals. In: *Swainson's Handbook of Technical and Quality Management for the Food Manufacturing Sector*. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 457–479.

YANG, D. et al. Dietary Intake of Folate, B-Vitamins and Methionine and Breast Cancer Risk among Hispanic and Non-Hispanic White Women. *PLoS ONE*, v. 8, n. 2, p. e54495, 11 fev. 2013. Disponível em: <<https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0054495>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

YEOH, S. Y. et al. Effect of cooking on physical and sensory properties of fresh yellow alkaline noodles prepared by partial substitution of wheat flour with soy protein isolate and treated with cross-linking agents. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 62, n. 4, p. 410–417, 2011.

ZHANG, Z.; SEND MAIL TO ZHANG L.; QIN, P.; SEND MAIL TO QIN P. Effects of extrusion on structural properties, physicochemical properties and in vitro starch digestibility of Tartary buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, v. 135, n. 108197, 30 set. 2022.

CONCLUSÃO GERAL

Massas alimentícias de milho e grão-de-bico podem ser considerados produtos que possuem grande potencial de comercialização pela indústria de alimentos e especificamente mercado brasileiro aparece como um nicho de produção agrícola e industrial já que é praticamente nula a exploração do milho. Tendo em vista que diante das novas regras de informações e padrões para caracterização dos produtos como integrais, as massas alimentícias de milho e grão-de-bico produzidas, por serem produzidas com matérias-primas 100% integrais, tornam o produto atrativo ao mercado nacional.

Quanto a qualidade das massas alimentícias produzidas, foi possível obter produtos a partir de farinha pré-cozida de milho e farinha de grão-de-bico com baixo tempo de cocção, ganho de peso e volume duas vezes maior e perdas no cozimento, parâmetros desejáveis para massas alimentícias secas. Quanto às características de textura, a enzima proporcionou melhorias na dureza e coesão da massa, mas podendo ser melhor com o uso da transglutaminase específica para massas alimentícias já existentes no mercado. O cozimento por extrusão melhorou a capacidade de absorção de água das farinhas de grãos integrais permitindo que elas se aproximassem das propriedades viscoelásticas de uma rede de glúten, porém, pode ter reduzido a disponibilidade de lisina pela reação de maillard, o que pode ter reduzido o potencial de ação da Tgase. Do ponto de vista nutricional, a massa integral de milho e grão-de-bico apresentou excelente qualidade nutricional, destacando-se o maior teor de proteína (mais de 12 g/100 g). Quanto à digestibilidade, não houve diferença significativa no teor de proteína solúvel, e quanto aos aminoácidos, o macarrão integral de milho e grão-de-bico apresentou valores superiores aos do macarrão comercial.

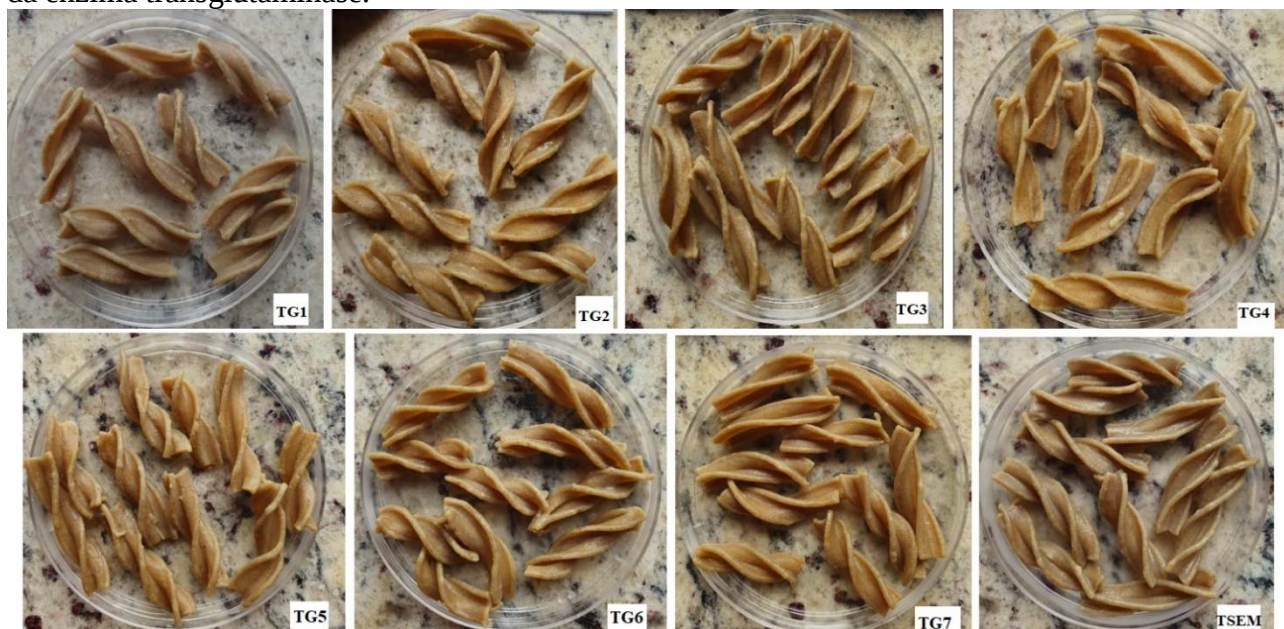
ANEXOS

Anexo A. Imagens das massas alimentícias pré-cozidas à base de milho e grão-de-bico.



T1: 20% Umidade, 30% milho; T2: 20% Umidade, 70% milho; T3: 50% Umidade, 30% milho; T4: 50% Umidade, 70% milho; T5 a T7: 35% Umidade, 50 % milho.

Anexo B. Imagens das massas alimentícias pré-cozidas à base de milho e grão-de-bico adicionadas da enzima transglutaminase.



TG1: 0,5% de Tgase, 15 minutos de incubação; TG2: 2% de Tgase, 15 minutos de incubação; TG3: 0,5% de Tgase, 45 minutos de incubação; TG4: 2% de Tgase, 45 minutos de incubação; TG5 a TG7: 1,25% de Tgase, 35 minutos de incubação.