

Carla Cristina Bauermann Brasil  
(Organizadora)



# ALIMENTOS: TOXICOLOGIA E MICROBIOLOGIA & QUÍMICA E BIOQUÍMICA

Carla Cristina Bauermann Brasil  
(Organizadora)



# ALIMENTOS: TOXICOLOGIA E MICROBIOLOGIA & QUÍMICA E BIOQUÍMICA

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

*Open access publication* by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



## Alimentos: toxicologia e microbiologia & química e bioquímica 2

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Carla Cristina Bauermann Brasil

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A411 Alimentos: toxicologia e microbiologia & química e bioquímica 2 / Organizadora Carla Cristina Bauermann Brasil. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0057-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.578221603>

1. Alimentos. 2. Química. 3. Microbiologia. I. Brasil, Carla Cristina Bauermann (Organizadora). II. Título.

CDD 641.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A presente obra “Alimentos: Toxicologia e microbiologia & Química e bioquímica 2” publicada no formato *e-book* explana o olhar multidisciplinar da área da ciência e tecnologia de alimentos. O principal objetivo desse *e-book* foi apresentar de forma categorizada os estudos, relatos de caso e revisões desenvolvidas em diversas instituições de ensino e pesquisa do país, os quais transitam nos diversos caminhos da alimentação, saúde e nutrição humana. Em todos esses trabalhos a linha condutora foram relacionados a alimentação, promoção da saúde, avaliações sensoriais de alimentos, caracterização de alimentos; desenvolvimento de novos produtos alimentícios, controle de qualidade dos alimentos e áreas correlatas.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos neste volume com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área da Alimentos, Saúde e seus aspectos. Deste modo a obra “Alimentos: Toxicologia e microbiologia & Química e bioquímica 2” se constitui em uma interessante ferramenta para que o leitor, tenha acesso a um panorama do que tem sido construído na área em nosso país.

Uma ótima leitura a todos(as)!

Carla Cristina Bauermann Brasil

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **EXTRUSÃO DE GRITS DE MILHO: UMA REVISÃO**

José Arturo Romero Rodríguez

José Luis Ramírez Ascheri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216031>

### **CAPÍTULO 2..... 33**

#### **CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE GELEIA DE MORANGO ADICIONADA DE INGREDIENTES FUNCIONAIS**

Carolina Castilho Garcia

Nádia Cristiane Steinmacher

Gláucia Cristina Moreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216032>

### **CAPÍTULO 3..... 40**

#### **UTILIZAÇÃO DE PROPÓLIS NA CONSERVAÇÃO DE QUEIJO FRESCO: UMA REVISÃO DE ESTUDOS CIENTÍFICOS**

Lidiane Pinto de Mendonça

Renata Cristina Borges da Silva Macedo

Flávio Estefferson de Oliveira Santana

Alcinda Nathally Nogueira

Bárbara Jéssica Pinto Costa

Francisco Sérvulo de Oliveira Carvalho

Jeliel Fernandes Lemos

Leônia Régia Costa da Silva

Daniela Thaise Fernandes Nascimento da Silva

João Ivysson Assunção Silva

Kátia Peres Gramacho

Karoline Mikaelle de Paiva Soares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216033>

### **CAPÍTULO 4..... 53**

#### **AVALIAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO EM INDÚSTRIA BENEFICIADORA DE AÇAÍ DO MUNICÍPIO DE CASTANHAL-PA**

Maria Deyonara Lima da Silva

Sandra Bruna Souza de Oliveira

Adriene Evelyn Matos Souza

Bruna Larissa do Espírito Santo Sousa

Julie Stephany Socorro da Silva Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216034>

### **CAPÍTULO 5..... 63**

#### **A CONTRIBUIÇÃO DAS PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANCs), PARA UMA ALIMENTAÇÃO SAUDÁVEL E ECOLÓGICA**

Maria Celeste da Silva Sauthier

Marília Dantas e Silva  
Olinson Coutinho Miranda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216035>

**CAPÍTULO 6..... 70**

**IMPORTÂNCIA DOS SAIS MINERAIS AO LONGO DO CICLO DA VIDA**

Andrielli Pompermayer Rosa  
Valéria Dornelles Gindri Sinhoin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216036>

**CAPÍTULO 7..... 83**

**ATUALIZAÇÃO CLÍNICA DA RELAÇÃO ENTRE DOENÇA DE CHAGAS E HÁBITOS ALIMENTARES ENTRE OS ANOS DE 2009 À 2019**

Karina de Moraes Oliveira  
Laura Camarota Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5782216037>

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 94**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 95**

## EXTRUSÃO DE *GRITS* DE MILHO: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/02/2022

### José Arturo Romero Rodríguez

Postgraduate Program in Food Science and Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro  
Seropédica, RJ, Brazil

### José Luis Ramírez Ascheri

2 Embrapa Food Technology, Food Extrusion and Physical Properties Lab, Avenida das Américas 29501, Guaratiba, Rio de Janeiro, RJ  
CEP 23020-470, Brazil

Artigo que forma parte da Tese do Dr. José Arturo Romero Rodríguez, do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos –PPGCTA, da UFRRJ.

**RESUMO:** *Grits* de milho é uma matéria prima muito utilizada na elaboração de produtos expandidos elaborados por extrusão. Na atualidade há uma grande variedade de produtos disponíveis originários do milho e outros ingredientes derivados, como *grits*, canjica, fubá, creme de milho entre outros utilizados na indústria alimentaria em geral. Os *snacks* constituem um grande volume da produção que constam na atualidade nas prateleiras dos supermercados. Pelas propriedades de expansão que possuem as partículas de *grits* de milho durante o processo de extrusão, os parâmetros de umidade e temperatura são os

fatores mais importantes que merecem estudo na verificação das mudanças físicas e químicas dos expandidos de milho. É bastante conhecido que o milho possui na sua composição carotenoides, sendo um dos objetivos desta revisão na qual trata de diferentes aspectos que envolvem a caracterização dos materiais processados por esta técnica e suas respectivas mudanças por efeitos do processamento térmico. Diversos estudos foram disponibilizados referente a este tema na qual colocamos os principais que se considera que aplicam a nossa proposta de trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** processamento, características morfológicas, *grits*, microestrutura, carotenoides, eletroforese.

### EXTRUSION COOKING OF CORN GRITS: A REVIEW

**ABSTRACT:** Corn grits is a raw material widely used in the preparation of expanded products made by extrusion. Currently, there is a wide variety of products available derived from corn grits and other derived ingredients, such as *canjica* cornmeal, corn cream, *fubá* among others used in the general food industry. Snacks constitute a large volume of production that are currently on supermarket shelves. Due to the expansion properties of corn grits particles during the extrusion process, the moisture and temperature parameters are the most important factors that deserve study in verifying the physical and chemical changes of corn-expanded products. It is well known that corn has

carotenoids in its composition, which is one of the objectives of this review in which it deals with different aspects involving the characterization of materials processed by this technique and their respective changes. Several studies were made available regarding this topic in which we put the main ones that are considered to apply to our work proposal.

**KEYWORDS:** processing, morphological characteristics, grits, microstructure, carotenoids, electrophoresis.

## 1 | REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 Aspectos relacionados com a tecnologia de extrusão

A extrusão-cocção de alimentos é um processo de alta temperatura, alta pressão e cisalhamento, com o qual se produz uma grande variedade de produtos para consumo direto em massa, massas pré-cozidas e aditivos alimentares, ração animal, entre outros (**Tabela 1**).

O cozimento por extrusão não é uma operação de unidade única (**Tabela 2**). Sua especificidade é de ampla gama de aplicações, em comparação com outros processos térmicos ou HTST (*High Temperature Short Time*), que dependem (1) do número de etapas de processamento mecânico e térmico que podem ocorrer ao longo do(s) parafuso(s) e cilindro e (2) alto cisalhamento e pressão exercida sobre misturas de alimentos com baixa umidade. A geometria da extrusora, as condições do processo e a composição da mistura de alimentos interagem para gerar várias modificações físicas, químicas e nutricionais dos constituintes dos alimentos (HARPER, 1981; RIAZ, 2009; CAMIRE, 1991). As novas extrusoras de barril longo são equipadas com várias entradas para líquidos e sólidos, e com segmentos de rosca modulares sucessivos, permitindo controle independente de temperatura, pressão, cisalhamento e tempo de residência. As transformações sequenciais são, portanto, possíveis. Embora as mudanças nutricionais sejam de pouca importância em alguns alimentos extrudados, a prevenção ou redução da destruição de nutrientes, junto com as melhorias na digestibilidade do amido ou da proteína, são claramente importantes na maioria das outras aplicações (AREAS, 1992). A extrusão também permite a inativação de vários fatores antinutricionais ou tóxicos, de enzimas oxidativas (lipoxigenase, peroxidase) e outras enzimas de deterioração. O maior grau de preocupação nutricional é alcançado quando a extrusão é usada especificamente para produzir alimentos nutricionalmente balanceados ou enriquecidos (alimentos para desmame, substitutos de carne, rações para animais, alimentos dietéticos) (**Tabela 2**). Pesquisas detalhadas dos efeitos nutricionais do cozimento por extrusão foram publicadas recentemente (RIAZ, 2009).

Nível	Modificações nutricionais	Evitar a destruição de Nutrientes: Aumentar a digestibilidade de amido	Destruição de compostos antinutricionais ou fatores tóxicos	Elaborar alimentos nutricionalmente enriquecidos ou balanceados
Industrial	Farinhas, amidos pré-cozidos, descristalização anidra de açúcar para confeitaria (balas duras), cobertura de chocolate, pré-tratamento de malte para bebidas, estabilização de farelo de arroz, elaboração de gel de gelatina, licores e gomas de mascar.	<i>Snacks</i> de milho e batata, coextrudados recheios, pão torrado, pão chato crocante, biscoitos em geral e tipo crackers, cereais matinais, farinhas pré-gelatinizadas, farinha instantânea para tortilhas e bebidas, pudim instantâneo de arroz e transformação da caseína em caseinato.	Farelos de sementes, farinha pré-cozida de soja, inclui soja integral (para enriquecimento de pães, massas).	Ração para animais (bovinos, ração para animais domésticos e peixes de aquário. Alimentos instantâneos não convencionais, mingaus de cereais ou misturas com leguminosas. Texturização de proteínas vegetales (análogos de carne) Alimentos dietéticos (alimentos sem glúten, farelos fortificados).
Desenvolvimento	Degerminação de especiarias, encapsulação, geração de agentes de sabor, liquidificação enzimática de amido por fermentação em etanol.	Massas de rápido preparo, pré-tratamento de oleaginosas para extração de óleo, preparação de massas específicas (para armazenamento por congelamento, sem retrogradação durante esfriamento).	Destruição de aflatoxinas ou gossipol nas sementes de algodão, e amendoim. Esterilização de farinha de sangue.	Gelatinização de proteína vegetal (alta umidade), reestruturação de carne picada ou carne desossada mecanicamente (alta umidade), preparação de novos processos estéreis de queijos (alta umidade, alto teor e gordura) e para bebês (alta umidade).

Tabela 1. Aplicações da extrusão termoplástica com ou sem texturização.

Fonte: RIAZ (2009).

#### Para consumo humano

Pão ralado (farinha de rosca).	Degerminação de especiarias.
Encapsulamento de sabor.	
Decristalização anidra de açúcares para fazer doces.	Liquefação enzimática de amido para fermentação em etanol.
Concha de chocolate para massas de cozimento rápido.	Tratamento de sementes oleaginosas para posterior extração de óleo.
Malte e amido pré-tratados para fermentação.	Confeitaria de gel de gelatina.
Estabilização do farelo de arroz.	Gelificação de proteínas vegetais.
Preparação de massas pré-cozidas.	Preparação de alimentos esterilizados para bebês (Mingaus e papinhas).
Destruição de parcial aflatoxinas no farelo de amendoim ou gossipol no farelo de algodão.	Eliminação do inibidor de tripsina da soja no uso de rações.
Caramelos, alcaçuz, goma de mascar	Produção de texturizados de pulses.
Petiscos de milho, arroz, sorgo e batata, etc.	Farinhas pré-cozidas de cereais, pseudocereais, grãos em geral e tuberosas.
<i>Snacks</i> coextrudados com recheios internos.	Pão estaladiço, biscoitos, bolachas.
Reestruturação da carne picada.	Modificação de amidos por extrusão reativa.

Pudins de arroz instantâneo.

**Para consumo animal**

Rações para *pet food* (cães, gatos, etc.).

Rações para pecuária (aves, suínos, gado de leite e corte, caprinos, ovinos, etc.)

Rações para aquicultura

Rações para cavalos.

**Para uso industrial**

Amidos pré-gelatinizados para indústria têxtil.

Amidos pré-gelatinizados para indústria de mineração.

Amidos pré-gelatinizados para indústria de extração de petróleo.

Fabricação Materiais bioplásticos para e embalagens utensílios (talheres feitos de materiais amiláceos).

Fabricação de papel moeda.

Fabricação de material de embalagem biodegradável (substituição do isopor).

Tabela 2. Principais produtos fatíveis de elaboração pelo processo de extrusão termoplástica.

Adaptado de DOBRASZCZYK et al. (2006).

O equipamento utilizado é uma extrusora, com diferentes configurações (rosca simples, rosca dupla, co-rotacional, cônica, etc.). Composto por um barril ou cilindro, um parafuso, uma matriz, um cortador, um funil de alimentação, um motor e aquecimento do sistema por vapor ou energia. Todo o sistema é acoplado a um computador que registra todos os eventos de engenharia do sistema e permite que sejam controlados manualmente de acordo com as características físico-químicas do produto desejado (**Figura 1**).

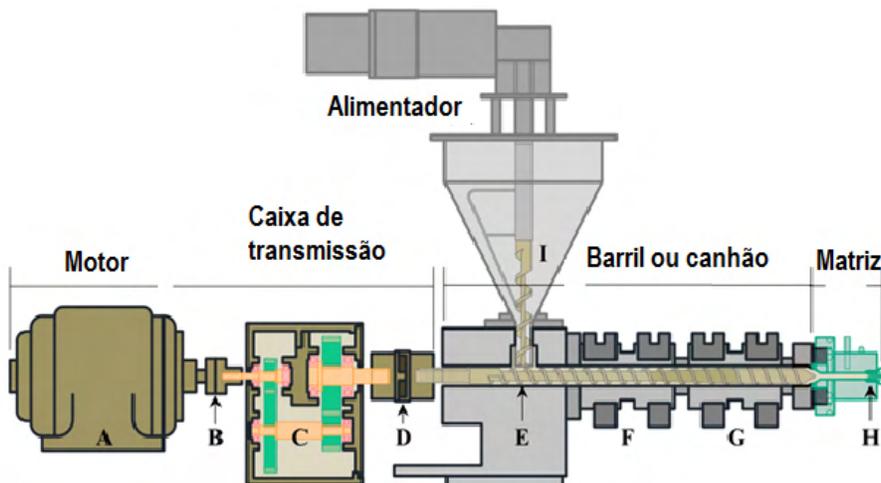


Figura 1. Esquema de uma extrusora de parafuso único. (A) motor, (B) acoplador, (C) caixa de transmissão, (D) acoplamento do(s) parafuso(s); No barril: (E) parafuso(s) da extrusora, (F) primeira zona de aquecimento/refrigeração, (G) segunda zona de aquecimento/refrigeração; (H) matriz circular; (I) sistema de alimentação e parafuso alimentador. Fonte: VARGAS-SOLÓRZANO (2019).

O processo de extrusão é amplamente utilizado na indústria de alimentos expandidos à base de amido ou produtos amiláceos. A crocância constitui um atributo de qualidade e está fortemente relacionado à expansão e microestrutura, que por sua vez é determinada pelos parâmetros usados na extrusão (OWUSU-ANSAH; VAN DE VOORT; STANLEY, 1984).

A extrusão de alimentos amiláceos resulta na gelatinização, destruição parcial ou completa da estrutura cristalina e fragmentação molecular dos polímeros de amido. Durante a extrusão, as estruturas das proteínas são rompidas e alteradas sob alto cisalhamento, pressão e temperatura. A solubilidade da proteína diminui e as reações de reticulação ocorrem possivelmente devido a algumas ligações covalentes formadas em alta temperatura, bem como a desnaturação da proteína e a formação de complexos entre amido e lipídios e entre proteína e lipídios (COLONNA et al., 1983; PÉREZ; BERTOFT, 2010). A formulação do material e os parâmetros do processo de extrusão afetam expansão, formação da nucleação celular e microestrutura resultante, que, por sua vez, controlam as propriedades mecânicas.

Micro tomografia de raios X não invasiva (XMT), em combinação com testes mecânicos realizados permitem compreender as relações complexas que ocorrem durante a fusão do amido na extrusão. O estudo de AGBISIT (2007), forneceu uma visão significativa do mecanismo de deformação das bolhas de ar de amido de milho extrudadas mostrando a microestrutura, incluindo diâmetro médio da célula (2,07 – 6,32 mm), espessura da parede (0,13 – 0,25 mm) e densidade numérica (18 – 146 cm<sup>3</sup>). Nesse estudo, a microestrutura teve correlações moderadas a altas, típico de processo na qual há o envolvimento de diversos parâmetros que impactam no produto processado.

## 1.2 Morfologia do grão de milho

O milho (*Zea mays* L.) é de grande importância na nutrição humana e animal, consumido nas Américas desde os tempos pré-incas, maias, astecas e na atualidade aplicações industriais diversas, pela disponibilidade de diferentes genótipos principalmente devido à estrutura do grão, como milho pipoca, milho doce, milho duro, semiduro, milho ceroso, glutinosos, etc. Na **Figura 2**, podem ser visualizadas as principais partes do grão de milho, indicando o pericarpo, endosperma amiláceo, as partes do endosperma vítreo, responsável da dureza dos grãos de milho, e também a parte farinácea, que corresponde à uma estrutura menos dura do grão (POMERANZ, 1987).

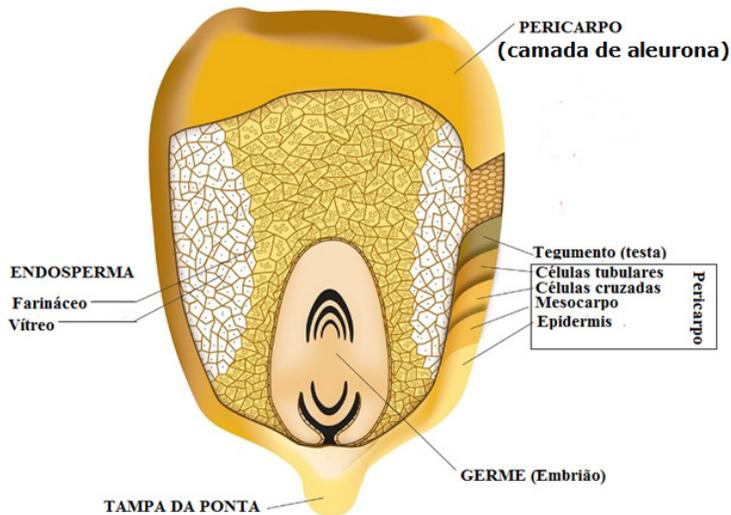


Figura 2. Principais partes da composição estrutural do grão de milho. Fonte: POMERANZ, (1987).

Segundo XU et al. (2019), o endosperma é o componente predominante do grão de milho e geralmente é classificado em endosperma farináceo (mole, opaco ou farináceo) e endosperma vítreo (córnea, dura, pederneira, translúcida ou vítreo). O endosperma farináceo é caracterizado por esféricos grânulos de amido e matriz de proteína fina, e o endosperma vítreo tem grânulos de amido poligonais compactados e matriz de proteína espessa. Durante a secagem do grão, os fios finos provocam ruptura da matriz proteica, causando bolsas de ar, o que dá ao endosperma farináceo uma aparência de cor branco opaco; no entanto, a matriz de proteína espessa encolhe, mas não provoca ruptura, causando uma estrutura vítrea densa, que dá origem ao endosperma vítreo uma aparência translúcida. Estas são as características que definem o uso dos grãos de milho na indústria. Existem grãos de milho com altos teores lipídicos, outros com altos teores de aminoácidos essenciais específicos, como a lisina (Milho opaco), metionina, triptofano e cisteína. Outros milhos com altos teores de amido, ideais para extração de este importante componente na indústria da maizena, outras variedades com altos teores de lipídios, ideais na obtenção óleos. Outros, grãos possuem, altos teores de amilose (*amylomaize*), ou com altos teores de amilopectina (cerosos) (ASCHERI e GERMANI, 2004).

Na atualidade a produção de *grits* de milho, normalmente são obtidos da moagem previa degerminação de grãos duros e semiduros e mantêm seus pigmentos no endosperma córneo, esterificados em lipídios, proteínas e grânulos de amido (ACOSTA-ESTRADA; GUTIÉRREZ-URIBE; SERNA-SALDIVAR, 2019).

### 1.3 Endosperma

O endosperma do grão de milho maduro constitui o maior tecido de armazenamento de amido e proteína (PEREZ e BERTOFT, 2010) e influencia suas qualidades e aplicações (XU et al., 2009). É recoberto pela camada de aleurona (rica em proteínas e enzimas alfa-amilases e hidrolases), numerosas células que contêm grânulos de amido, lipídios e pigmentos carotenoides (BEMILLER; WHISTLER, 2009). Da mesma forma, irrigam a periferia do endosperma e do embrião (ROST e LERSTEIN, 1970).

Segundo ROBUTTI et al. (2002), relataram que é importante conhecer a associação entre a qualidade industrial e as propriedades comerciais através do conhecimento adequado das características biofísicas (textura e dureza do endosperma) e bioquímicas (composição proteica e do amido). Esses pesquisadores determinaram que o comportamento dos grãos de endosperma de milho duros processados por extrusão apresentou maior expansão, melhor cozimento e menor consumo de energia.

A textura dos cereais expandidos é definida principalmente pela textura dos *snacks*, que é determinada pelas condições de extrusão e pelo teor de umidade (ROBUTTI et al., 2002; GONZÁLEZ, et al. 2004). Segundo ZHANG (2011), a textura do grão de milho é importante porque influencia as características de transporte e manejo, a suscetibilidade ao bio-deterioro por insetos e fungos, rendimento de *grits* na moagem a seco e consumo de energia no processo. Estas dependem da presença e quantidade dos aminoácidos metionina e cisteína que definem as propriedades de dureza e textura do endosperma do grão de milho maduro (ROBUTTI, 2002).

### 1.4 Amido

O amido é sintetizado em forma de grânulos nos cloroplastos das folhas, de forma temporal e nos amiloplastos das células do endosperma de armazenagem por tempo longo (PEREZ e BERTOFT, 2010). O amido é um polímero natural, renovável e biodegradável, produzido por muitas plantas como fonte de energia armazenada. Grânulos de amido nativo normalmente têm dimensões que variam de 0,5 para 175  $\mu\text{m}$  e aparecem em uma variedade de formas (**Figura 3**). É composto por dois biopolímeros: amilose e amilopectina. Amilose é um composto linear e polímeros ramificados como a amilopectina composto de  $\alpha$ -D-glicose. Amilose tem uma massa molecular de cerca de  $10^5 - 10^6 \text{ g mol}^{-1}$ , enquanto a amilopectina tem uma massa molecular na faixa de  $10^7 - 10^9 \text{ g mol}^{-1}$ . A estrutura linear da amilose é mediante ligações glicosídicas ( $\alpha - 1-4$ ) e para a amilopectina, uma estrutura linear ramificada, de ligações ( $\alpha - 1-4$ ) e ( $\beta - 1-6$ ) conforme descrito por WANG et al., (2012).

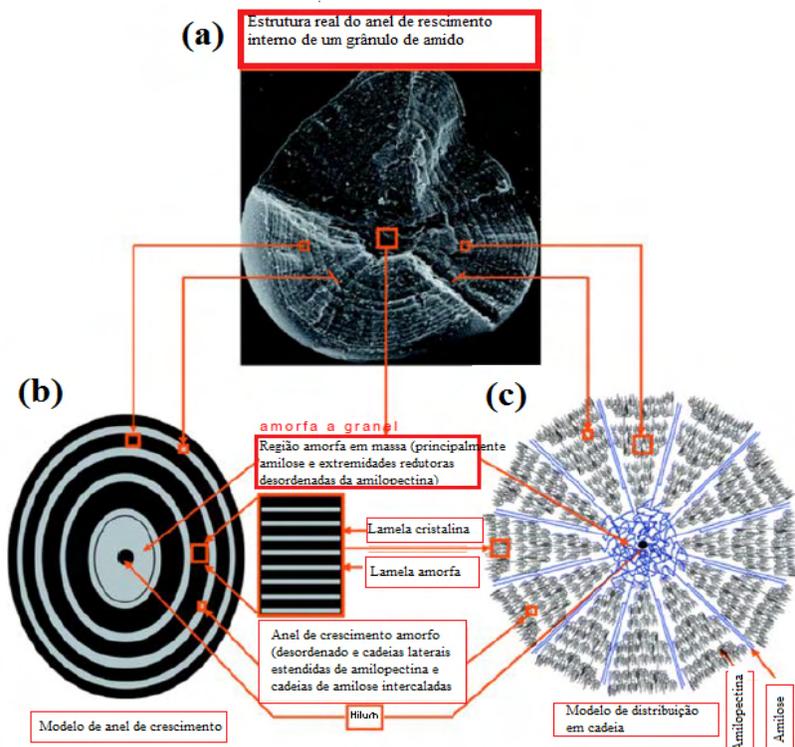


Figura 3. Estrutura interna dos grânulos de amido que consiste em matrizes de amilose e cadeias de amilopectina que se formam a partir de um hilo central. Fonte: WANG, et al., (2012).

De acordo com XIE, HALLEY e AVEROUS (2012), relataram que devido às preocupações ambientais e à escassez de petróleo, o uso de recursos de amido em aplicações não alimentares experimentou um desenvolvimento considerável nas últimas décadas, a fim de encontrar substitutos para os plásticos à base de petróleo. O amido tem vantagens como baixo custo, ampla disponibilidade e compostabilidade total sem resíduos tóxicos, embora também exista problemas na disponibilidade de superfícies agrícolas para arranjar plantas em escala mundial. Usando técnicas de processamento convencionais, como extrusão, o amido granular nativo (também conhecido como amido bruto) pode ser convertido em um estado fundido com a presença de baixo teor de plastificantes, como água e glicerol. Como os primeiros estudos mostraram que o fundido do polímero de amido se comporta, em parte, como um polímero sintético típico, esse material é frequentemente referido como amido termoplástico (ATP) na literatura. O ATP pode ser processado em vários produtos, como folhas/filmes, espumas e outras formas específicas por extrusão, moldagem por injeção, moldagem por compressão e outros processos.

Segundo BIER (2013), informou que um agropolímero termoplástico específico de

interesse aqui é o amido termoplástico (ATP). O amido pode ser convertido em um material termoplástico na presença de plastificantes usando calor e cisalhamento. O benefício do ATP é a sua compostabilidade e custo relativamente baixo em comparação com o material sintético termoplástico. Um problema com o uso do amido é sua alta temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). A fragilidade também aumenta com o tempo devido ao volume livre, relaxamento e retrogradação. A fim de aumentar a flexibilidade e processabilidade, plastificantes como água, glicol, sorbitol, ureia, amida, açúcares e aminas quaternárias têm sido usadas em ATP. A estabilidade dimensional e propriedades mecânicas do amido termoplástico são altamente dependentes do teor de umidade. Infelizmente, a hidrofiliabilidade excessiva do amido não é significativamente reduzido por plastificantes de polioliol. Em seu estado nativo, o amido é semicristalino (cerca de 20 – 45%) e insolúvel em água (PEREZ e BERTOFT, 2010).

O amido é rico em amilose é geralmente preferido para conversão em ATP conforme a linearidade da amilose melhora a processabilidade do amido, embora esteja presente como um componente secundário (entre 20 e 30% em peso). A proporção de amilose para amilopectina depende de a fonte e idade do amido, e também pode ser influenciada pelo processo de extração, (XIE, HALLEY e AVEROUS, 2012).

## 1.5 Proteínas

As proteínas de armazenamento em grãos de cereais são prolaminas e glutelinas, com efeito significativo na nutrição humana e animal, bem como em suas propriedades funcionais no processamento de alimentos (BORRAS et al., 2006; SHEWRY e HALFORD, 2002). As prolaminas do grão de milho são conhecidas como zeínas (ESEN, 1986). Elas constituem uma família de zeínas composta por  $\alpha$ -zeína,  $\beta$ -zeína,  $\gamma$ -zeína e  $\delta$ -zeína. São sintetizadas durante o desenvolvimento do endosperma pela membrana ligada aos poli-ribosomas e transportadas para o lúmen do retículo endoplasmático onde são montadas aos corpos proteicos (LENDING e LARKINS, 1989 e DUVICH, 1960). As zeínas constituem o (60 e 70%) do endosperma e são solúveis em soluções alcoólicas e solventes orgânicos (HOLDING e LARKINS, 2005). As prolaminas do grão de milho são deficientes em lisina, triptofano e uma fonte de metionina e cisteína (WANG, 2019).

A qualidade nutricional das zeínas do grão de milho normal maduro é baixa, devido à sua deficiência em lisina e triptofano e sua não digestibilidade em humanos e animais monogástricos (SHEWRY, 2007). Porém, com a descoberta do gene opaco-2, conseguiu-se um aumento de duas a três vezes a quantidade de lisina e uma redução das zeínas, com aumento das globulinas (proteínas de maior valor biológico). O desenvolvimento de uma mistura de farinha de soja desengordurada e farinha opaco (1/3 do custo de um litro de leite), processada por extrusão termoplástica, foi considerada como adequada como alimento complementar para bebês e crianças. Da mesma forma, outras matérias-primas nativas e processamento por extrusão para converter produtos de qualidade em

formulações e posterior comercialização foram viabilizadas (BRESSANI, 2010), incluindo fontes proteicas, como caseína, gérmen de trigo, farelo de soja desengordurada foram adicionadas aos *snacks* à base de milho.

KAUR et al (2019), estudaram a otimização das condições de extrusão para o desenvolvimento de mingau instantâneo à base milho normal e de *Quality Protein Maize* (QPM). O efeito do teor de umidade (14 – 18%), temperatura do barril (125 – 175 °C) e velocidade do parafuso (400 – 550 rpm) nas variáveis dependentes (solubilidade de carboidratos (SC), solubilidade de proteínas (SP), poder de hidratação (PH) e capacidade de absorção no leite (CAL). A umidade de alimentação e a temperatura do barril exibiram efeitos significativos ( $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,05$ ) em SP, PH e CAL, enquanto a velocidade do parafuso mostrou um efeito não significativo ( $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,05$ ) no PH e SC. O aumento no teor de umidade e na temperatura do barril aumentaram os níveis de SC e SP do mingau de milho com proteína normal e milho QPM. No entanto, o aumento da velocidade do parafuso resulta na diminuição da solubilidade da proteína. As condições ideais de extrusão para milho QPM foram 14,19 – 15,36 % de umidade de alimentação (em base seca), velocidade do parafuso de 411,61 – 466,50 rpm e temperatura do cilindro de 150 °C. As condições ótimas de extrusão foram 14,02 – 14,17% de umidade de alimentação (em base seca), e temperatura do barril de 171,27 – 173,47 °C. Velocidade do parafuso de 404,05 rpm. Com base nesses resultados, concluiu-se que o milho normal e milho QPM pode ser extrudado conseguindo-se níveis aceitáveis de expansão para a elaboração de alimentos prontos para consumo (mingaus, *snacks* cereais matinais), com qualidade nutricional. Porém, sabe-se que milho QPM é um híbrido de difícil acesso à área comercial, pois ainda não foram superadas as questões de produção e produtividade.

Tem sido dito que para que os bioplásticos proteicos sejam comercialmente viáveis, eles precisam ser processados usando o equipamento atualmente usado para termoplásticos sintéticos. Bioplásticos proteicos são frequentemente quebradiços e sensíveis no meio aquoso, e superar isso, é uma das forças motrizes por trás da pesquisa em este campo. As propriedades físico-químicas e as condições de processamento são frequentemente governadas pelas propriedades estruturais da proteína e, portanto, também pelas propriedades do material final. (BIER, 2013). Este autor comenta que o comportamento viscoelástico dos polímeros amorfos ou semicristalinos pode ser dividido em regiões, como, (1) vítreos, (2) estados de fluxo semelhante ao couro, (3) borracha e (4) viscosos. A transformação de uma região para outra depende da temperatura do processo, enquanto a temperatura em que cada transição ocorre depende da estrutura do polímero. O processamento só pode ser feito acima das temperaturas correspondentes ao fluxo de formação de borracha na região. A maioria da literatura sobre bioplásticos proteicos sugere que o processamento seja feito acima do ponto de amolecimento da proteína, o que implicaria em uma temperatura bem acima do Tg. Na **Figura 1.4**, são apresentados os modelos propostos da possível formação estrutural entre complexos

proteicos, amiláceos e lipídicos (BIER, 2013).

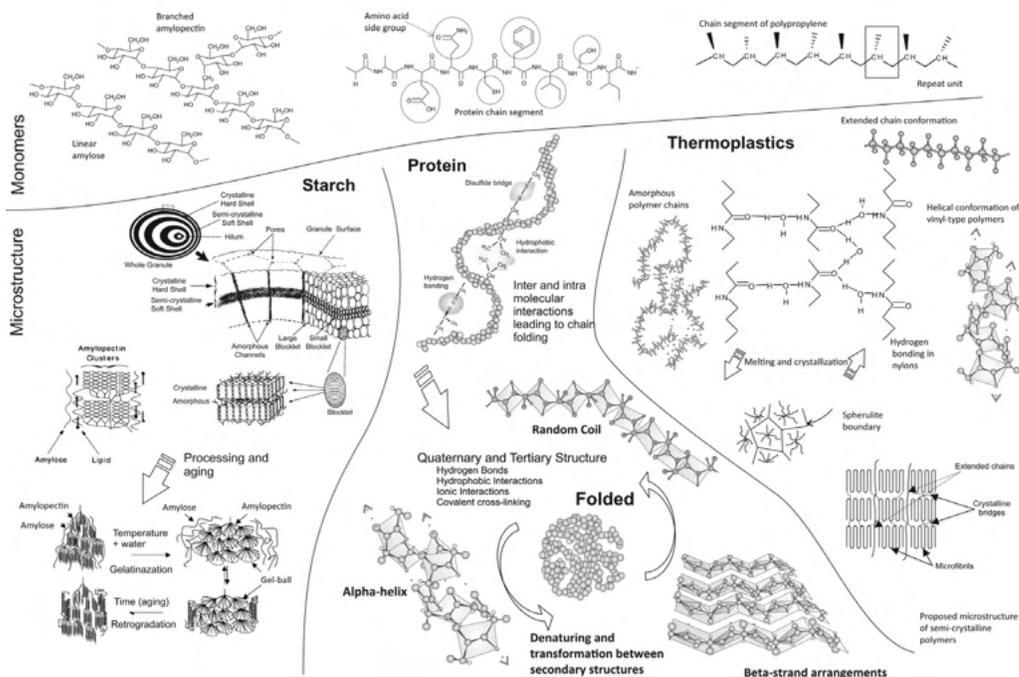


Figura 4. Monômeros e microestrutura de amido, proteínas e exemplos de termoplásticos sintéticos. Fonte: BIER (2013).

Na **Figura 5**, é apresentado um esquema da inter-relação mecanicista entre variáveis independentes, condição de extrusão, propriedades do material e estrutura no processamento de extrusão. Dessa forma, cada material estaria influenciado pelas diferentes circunstâncias que envolvem o processo, assim matérias primas com suas características, parâmetros de processamento e os efeitos que por essas ações resultam em produtos com características peculiares. Segundo STEEL (2012), cada cereal tem uma composição diferente de sua farinha que depende basicamente do nível de componentes não amiláceos, como proteínas e fibras. Por exemplo, as farinhas de milho e arroz são geralmente mais ricas em amido do que a farinha de trigo devido ao menor teor de proteína e fibra. As farinhas de aveia são ricas em óleo e fibra, apresentando o menor teor de amido.

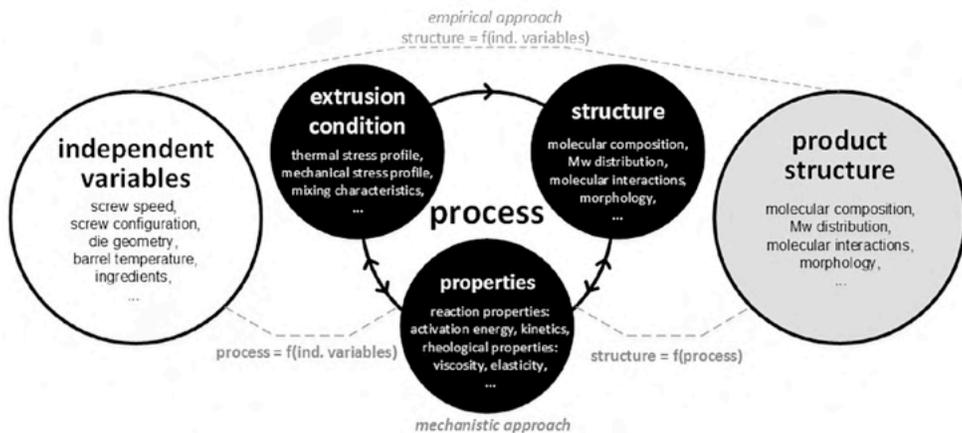


Figura 5. Inter-relação mecanicista entre variáveis independentes, condição de extrusão, propriedades do material e estrutura no processamento de extrusão. Fonte: EMIN e SCHUCHMANN (2017).

Um dos principais desafios durante o processo de extrusão, é a determinação e caracterização de os parâmetros decisivos para as mudanças estruturais pretendidas. A extrusão é um processo contínuo operando em estado dinâmico estacionário de equilíbrio. Na maioria dos estudos, as extrusoras são consideradas caixas pretas, como a influência dos parâmetros do processo na extrusão resultante as condições e seus efeitos nas mudanças estruturais são desconhecidos. Portanto, o controle deste processo e projeto de novos extrudados os produtos ainda se baseiam principalmente em conhecimentos empíricos. A abordagem empírica vincula variáveis de processo independentes (por exemplo, velocidade do parafuso, temperatura do barril, conteúdo de água, ingredientes) até conseguir o final da estrutura e características do produto. Foi demonstrado que o sucesso para muitos produtos alimentícios convencionais, que é atribuído ao manejo adequado dos parâmetros de extrusão para bons resultados. No entanto, não permitem determinar os mecanismos responsáveis pelas mudanças estruturais. Com o aumento da complexidade dos sistemas alimentares, a abordagem empírica convencional geralmente falha em fornecer compreensão fundamental e não é eficiente em encontrar respostas entre o grande número de parâmetros que influenciam a estrutura e funcionalidade do produto alimentar. Além disso, a extensão da gama de produtos e o aumento de escala do processo permanecem muito desafiadores, como a informação obtida é altamente material e máquina dependente (EMIN e SCUCHMANN, 2017).

## 1.6 Lipídeos

No trabalho de AREAS (2009), foi relatado as interações lipídio-proteína que podem ocorrer como consequência do processo de extrusão, de uma forma semelhante à relatada para interações amido-lipídio. No entanto, essas interações provaram ser benéficas para a extrusão de resíduos com produtos de matadouro, como por exemplo

pulmão bovino. As tentativas iniciais de extrusão de várias proteínas animais residuais das indústrias de carnes e laticínios foram decepcionantes, sendo possível apenas quando a proteína de soja foi adicionada em uma alta porcentagem ao pulmão bovino, por exemplo. Os produtos extrudados finais, em todos os relatórios, eram geralmente mais difíceis de se outorgar alguma qualidade do que os obtidos com proteína de soja e de mais pobre qualidade de textura. A deterioração da sua qualidade sempre foi considerada dependente da quantidade de proteína animal adicionado. A primeira extrusão bem-sucedida de proteína animal pura sem adição de soja foi realizado com proteína que primeiro tinha que ser isolado do tecido e desengordurado com solvente orgânico. Efeitos marcados da interação lipídio-proteína foram observadas após o isolamento da proteína dos tecidos e sua subsequente desengordurante, especialmente em sua capacidade de hidratação e extrusão. Extrusão de proteína pulmonar foi realizado para melhorar a textura e algumas propriedades funcionais dos produtos originais. Como relatado em outros sistemas, estudos realizados com proteínas puras de pulmão desengorduradas com clorofórmio e etanol, que produziram farinhas com dois casos extremos de composição, ou seja, 6,5% de lipídio residual na farinha com o antigo solvente e apenas 0,5% de lipídio residual com o último, mostrou que o conteúdo de lipídio foi decisivo para o tipo de interação entre as proteínas nos extrudados. Por outro lado, SCHWEIZER et al., (1986), relataram o efeito dos lipídios nas propriedades físicas, degradação e formação de complexos de amido em farinha de trigo processados por extrusão e secagem por tambor, verificaram que se aponta para a possibilidade de que complexos de amilose-lipídio, formados após a extrusão e ao passar pelo secador de tambor, diferem daqueles formados durante a gelatinização da farinha nativa em excesso de água ou precipitado com a adição de monoacil lipídeos a soluções de amido. Considerando as condições completamente diferentes que prevalecem nessas várias situações, e, especialmente, o curto tempo disponível para a complexa reforma no final da secagem em tambor e extrusão, tais diferenças são plausíveis.

## 1.7 Fibra

De acordo com CAMIRE e KING (1991), que estudaram os efeitos de diferentes fontes de fibra dietética no comportamento da proteína durante a extrusão, e é necessária para explicar a redução na lisina disponível e o aparente aumento da solubilidade do nitrogênio. A celulose de algodão e fibra de cotilédone soja usada na substituição de 10% do peso para fubá pareceu ter um impacto mínimo sobre as muitas características físicas dos salgadinhos de milho extrudado. Além disso, uso de isolado proteico de soja na reposição de 15% causou aumento da expansão, cor mais escura e menos sabor estranho. Portanto, níveis mais baixos deste material podem ser usados quando da fabricação de um produto semelhante.

De acordo com YANNIOTIS, PETRAKY e SOUMPASI (2007), estudaram o efeito das fibras de trigo e pectina na expansão radial, porosidade, umidade e dureza do amido

de milho extrudado e verificaram que o grau de expansão do extrudado está relacionado ao tamanho, número e distribuição das células de ar circundadas pela matriz cozida. As fibras reduziram o tamanho das células, provavelmente causando a ruptura prematura das células de gás, o que obviamente reduz a expansão geral. Sabe-se que a taxa de expansão do amido depende principalmente do seu grau de gelatinização. A água está bem estabelecida como um plastificante das regiões amorfas dos grânulos de amido e, além disso, promove a ruptura das ligações de hidrogênio e a formação de novas ligações de hidrogênio entre ela e as cadeias de amido associadas. Quando polissacarídeos não amiláceos, como a pectina, estão presentes, eles têm a capacidade de se hidratar e, conseqüentemente, competir e restringir o plastificante e, portanto, o processo de gelatinização. Além disso, a pectina, adicionado neste trabalho como componente de fibra, provavelmente aumenta a viscosidade do fundido, tornando assim a expansão radial na saída mais difícil. Portanto, a pectina reduz a expansão radial, aumentando a viscosidade do fundido e reduzindo a disponibilidade de água para o processo de gelatinização. Na conclusão, os autores comentaram que o exame macroscópico e microscópico mostrou que extrudados contendo pectina não mostraram qualquer diferença aparente no tamanho e no número de células em comparação com extrudados de amido de milho sem pectina ou fibra, enquanto em extrudados com fibra de trigo o tamanho das células era obviamente menor e o número de células mais altas. A pectina reduziu a expansão radial e a dureza do amido de milho extrudado e aumentou a porosidade. As fibras interferem com a expansão das bolhas e redução da expansão, tamanho das células e porosidade. As fibras também reduziram o teor de umidade e aumentaram a dureza. A interação entre as fibras e a pectina não deram um efeito estatisticamente significativo em nenhum dos atributos estudados.

No estudo de CHEN et al., (2018), informaram que as propriedades estruturais e físico-químicas de fibra alimentar solúvel (SDF1) e (SDF2), extraídos de pós não extrudados e extrudados, respectivamente, de raiz de lótus foram caracterizadas por MEV, FTIR (*Fourier-transform infrared spectroscopy*), cromatografia gasosa (GC) e análise reológica. A observação do MEV mostrou que o SDF1 tinha uma estrutura escamosa, lisa e brilhante, enquanto o SDF2 tinha uma estrutura granular com forma irregular, que também continha alguns grânulos grandes, com uma estrutura em favo de mel rodeada por pequenas partículas. A análise espectral infravermelha, mostrou que não havia diferença significativa entre SDF1 e SDF2 no pico de absorção, mas algumas pequenas diferenças na intensidade de absorção de alguns picos e forma. A análise por GC mostrou que os monossacarídeos em SDF1 e SDF2 eram compostos de ramnose, arabinose, glicose, manose, xilose e galactose com o principal componente sendo glicose, mas a extrusão aumentou o conteúdo de manose e xilose. A extrusão também pode melhorar significativamente as características de hidratação do SDF, incluindo capacidade de dilatação, capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de óleo e emulsão. As propriedades reológicas do SDF1 e SDF2 foram quase as mesmas e a viscosidade do SDF foi reduzida com o

aumento da temperatura e da taxa de cisalhamento. A adição de cloreto de sódio teve pouco efeito na viscosidade da solução SDF. O estudo reológico dinâmico mostrou que as duas soluções SDF tinham propriedades sólidas semelhantes. Os resultados deste estudo podem facilitar pesquisas futuras sobre a relação estrutura-atividade de SDF e aplicação industrial de extratos de fibra alimentar.

## 1.8 Carotenoides

De acordo com RIAZ, ASIF e ALI (2009), informaram que dentre as vitaminas lipossolúveis, um possível efeito adverso do processamento de alimentos e rações por meio da extrusão ocorre a destruição das vitaminas. Vitamina A (retinol, palmitato de retinila, retineno, ácido retinóico, vitamina A2 -origem de peixe- e axeroftol). A deficiência de vitamina A é uma das principais causas da cegueira, e esta vitamina também é muito importante para o funcionamento saudável do sistema imunológico. Muitas formas diferentes de vitamina A e pró-vitamina A estão disponíveis para fortificação.

A maioria dos cereais usados para lanches que são criados pelo cozimento por extrusão são deficientes em vitamina A. Em estudos da destruição da vitamina A na mistura milho-soja-amendoim foi de 52,5% durante a extrusão. Porém, apenas 24,9% quando o mesmo material foi fervido por 2 min, quando ao  $\beta$ -caroteno adicionado antes da extrusão, aproximadamente 75% foi destruído, mas quando a vitamina foi alterada com uma solução de álcool a fonte de vitamina A (retinol), vitamina A acetato, ou palmitato de vitamina A, tinha retenções variando de 50 a 90%. A destruição de todas as formas de vitamina A diminuiu conforme a velocidade do parafuso foi aumentada, provavelmente devido ao menor tempo de residência, mostrando que, tempos de residência de extrusão mais longa foram destrutivos para a vitamina A em comparação com o efeito de cisalhamento a uma temperatura de extrusão de 130 °C. Semelhante descobertas foram relatadas por EMIN, MAYER-MIEBACH e SCHUCHMANN (2012), já que o cozimento por extrusão a 180 °C mostrou-se um tratamento mais drástico para o pigmento ( $\beta$ -caroteno) do que o simples aquecimento por um longo período (2 h) na mesma temperatura.

A vitamina A, que é muito instável à oxidação é perdido rapidamente durante o armazenamento porque está mais exposto ao oxigênio do que durante a extrusão (HAPER, 1988). Aumentando a temperatura do barril de 125 a 220 °C resultou em mais de 50% destruição de todo o  $\beta$ -caroteno trans na farinha de trigo (GUZMAN-TELLO e CHEFTEL, 1990). Segundo PEZZATO (1998), relatou que quando o processo de extrusão é utilizado para a fabricação de rações de peixes pode resultar em perdas de alguns nutrientes, principalmente vitamina A e seu precursor,  $\beta$ -caroteno. O oxigênio e o calor destroem a vitamina A e os carotenoides relacionados. O  $\beta$ -caroteno é um antioxidante e um precursor da vitamina A.  $\beta$ -caroteno é normalmente adicionado aos alimentos para dar cor laranja, mas é instável quando usado, o que requer de atenção para evitar perdas.

Um produto foi feito por HOF (2006) com a extrusão de farinha de arroz fortificado

com vitaminas e minerais, descobriu que a retenção média de vitamina A neste produto experimental foi de 48% para grãos secos e 37% após o cozimento. De acordo com CHARLTON e EWING (2007) essa vitamina é instável à oxidação, luz, umidade, calor, minerais, gordura ácida e rançosa. Na **Tabela 3** são apresentadas as típicas perdas de diferentes vitaminas durante processos térmicos e estocagem. Sendo que o amido e os carotenoides de milho são sintetizados nos cloroplastos das folhas e nos amiloplastos do endosperma, durante o processamento por cozimento por extrusão de produtos expandidos, os carotenoides atuam como fontes de cor e antioxidantes e o endosperma contribui para a expansão, cor e textura. O endosperma é o principal tecido de armazenamento de amido e proteína. É composto por duas frações; endosperma vítreo e endosperma amiláceo (SHAIK et al., 2014), responsáveis pela expansão ocorrida durante o processamento por extrusão. Durante o cozimento por extrusão, a umidade da matéria prima e/ou formulação é o principal fator que afeta as propriedades físico-químicas dos extrudados expandidos de milho (GUJRAL; SINGH; SINGH, 2001). A água facilita a transferência de calor por convecção e em combinação com o perfil de temperatura definido, ambos plastificam o material de alimentação.

A temperatura do material plastificado é aumentada ainda mais com a dissipação da energia mecânica necessária para girar o parafuso (GODAVARTI e KARWE, 1997). Nessas condições, o amido e as proteínas são transformados e fundidos (BRENT et al., 1997). A resistência ao fluxo de fusão através da matriz causa aumento de pressão dentro da extrusora. Com a ação combinada de pressão, temperatura e cisalhamento, os compostos bioativos podem ser liberados ou posteriormente encapsulados com esses principais polímeros, por meio de emaranhamentos moleculares (BAMIDELE e EMMAMBUX, 2020). O processamento por extrusão com baixa umidade causa maior degradação de compostos bioativos (ORTIZ-CRUZ et al., 2020), uma vez que nessas condições mais calor é gerado por forças de cisalhamento e a temperatura do material fundido é elevada a níveis capazes de produzir degradação térmica na última zona da extrusora (BORSARELLI e MERCADANTE, 2009). Além disso, o ar aprisionado no sistema, a partir de poros de ar inter e intragranular, pode aumentar o teor de oxigênio a níveis que favorecem as reações de oxidação de compostos bioativos (MARTY; BERSSET, 1990).

Vitaminas	Minerais/Premix de vitaminas	Peletizado a 70 °C	Peletizado a 90 °C	Extrusão a 80 °C	Enlatado	Estocagem
Vitamina A	1% /m	10%	30–40%	30%	Acima de 70%	6–7% /m
Vitamina D	10% /m	15%	35%	25%	–	10% /m
Vitamina E	2% /6 m como acetato	10%	15%	10%	–	–
Vitamina K	34–38% /m	20%	40%	50%	–	50% no componente da ração

Vitamina B1	50% /3 m	15%	50%	50%	Acima 70%	5–20%/m
Vitamina B2	5–40%	10%	15%	20%	–	2–10%/m
Vitamina B6	20% /m	10%	30%	5–25%	3–5%	2–5% /m
Niacina	2–4%/m	5%	10%	10–30%	5%	1–2%
Ácido Pantoténico	1–8%/m	10%	20%	10–20%	–	0–5% /m
Colina	10% /6 m	5%	5%	Low	RNS	3% / 6 m
Ácido fólico	10–40% /m	5–20%	45%	50%	50%	10–50% /m

Tabela 3. Perdas típicas de diferentes vitaminas durante o peletizado e extrusão.

RNS= redução não significativa. m = Mês. Fonte: CHARLTON e EWING (2007).

### 1.9 Microestrutura de produtos expandidos extrudados de *grits* de milho

O interesse do consumidor em salgadinhos prontos para consumo está crescendo devido à sua conveniência, valor, aparência, sabor e textura atraentes. *Snacks* extrudados à base de cereais são os mais comumente consumidos. Extrusoras podem misturar os diversos ingredientes usados para desenvolver novos salgadinhos. A qualidade do produto final depende das condições de processamento utilizadas durante a extrusão e está incluída a composição das matérias primas, umidade de alimentação, temperatura do barril, velocidade e configuração do parafuso. Além disso, os ingredientes e a formulação desempenham um papel importante no desenvolvimento da textura do produto extrudado e, finalmente, a aceitabilidade do produto para o consumidor. As condições sob as quais o produto é processado determinarão a capacidade de retenção dos compostos funcionais termolábeis, incluindo vitaminas, pigmentos como  $\beta$ -caroteno e compostos voláteis de sabor. Portanto, o processamento deve ser cuidadosamente controlado para otimizar a retenção dos componentes funcionais. A maioria dos salgadinhos contém uma alta proporção de milho, arroz, trigo, aveia entre outros cereais ou pseudocereais (quinoa e amaranto) derivados de raízes e tubérculos como fontes de carboidratos podem ser adicionados. (NOR et al., 2013). Nesse sentido, dependendo do material utilizado na formulação, condições de processamento, entre outros fatores, teremos uma grande variedade de texturas e consequentemente microestrutura dos materiais expandidos por extrusão.

No trabalho de OLLETT et.al. (1990), verificou-se as mudanças microestruturais que ocorrem durante o cozimento por extrusão de *grits* de milho usando microscopia óptica e difração de raios-X. A ruptura completa das partículas de *grits* de milho e seus constituintes amiláceos estão relacionados com os efeitos no processo de extrusão, entre eles o torque que provocaram mudanças nos níveis de absorção e solubilidade em água desse material. Essa ruptura também inclui parâmetros umidade de processamento, temperatura do barril e configuração do parafuso. O formato cristalino do tipo E formado pelo complexo amilose-lípido manifestou-se no intervalo de temperatura de 90-150 °C, onde o *grits* de milho extrudado teve uma baixa taxa de cisalhamento. Na visualização no microscópio ótico

a amostra extrudada a 130 °C visto em baixa ampliação sob luz polarizada, verificou-se duas peças de *grits* de forma triangular onde se mostra a cruz de malta, características de grânulos de amido não gelatinizados.

De acordo com o trabalho de OWUSU-ANSAH, VOORT e STANLEY (1984), as micrografias eletrônicas de varredura de alguns dos extrudados são mostradas na **Figura 6**. Produtos altamente expandidos mostraram estruturas muito porosas com grande número de bolsas de ar. O exame estrutural revelou que a redução da umidade da alimentação era essencial para o desenvolvimento de uma estrutura porosa. A porosidade aumentou com o aumento da expansão e diminuição da resistência à quebra. O padrão de deformação da força foi encontrado para estar relacionado à microestrutura em que produtos altamente porosos mostraram uma série de picos antes da quebra ser concluída (**Figura 6**) e o número de picos produzidos foi relacionado à porosidade (ou seja, o número e distribuição das bolsas de ar) Amostras altamente porosas tiveram uma média de  $7,0 \pm 1,0$  picos em comparação com  $3,0 \pm 0,5$  para extrudados menos porosos. Observações semelhantes foram feitas na literatura (STANLEY e DEMAN, 1978) e foi sugerido que o número de picos está relacionado à microestrutura e pode ser útil como um índice para atributos sensoriais, como a crocância.

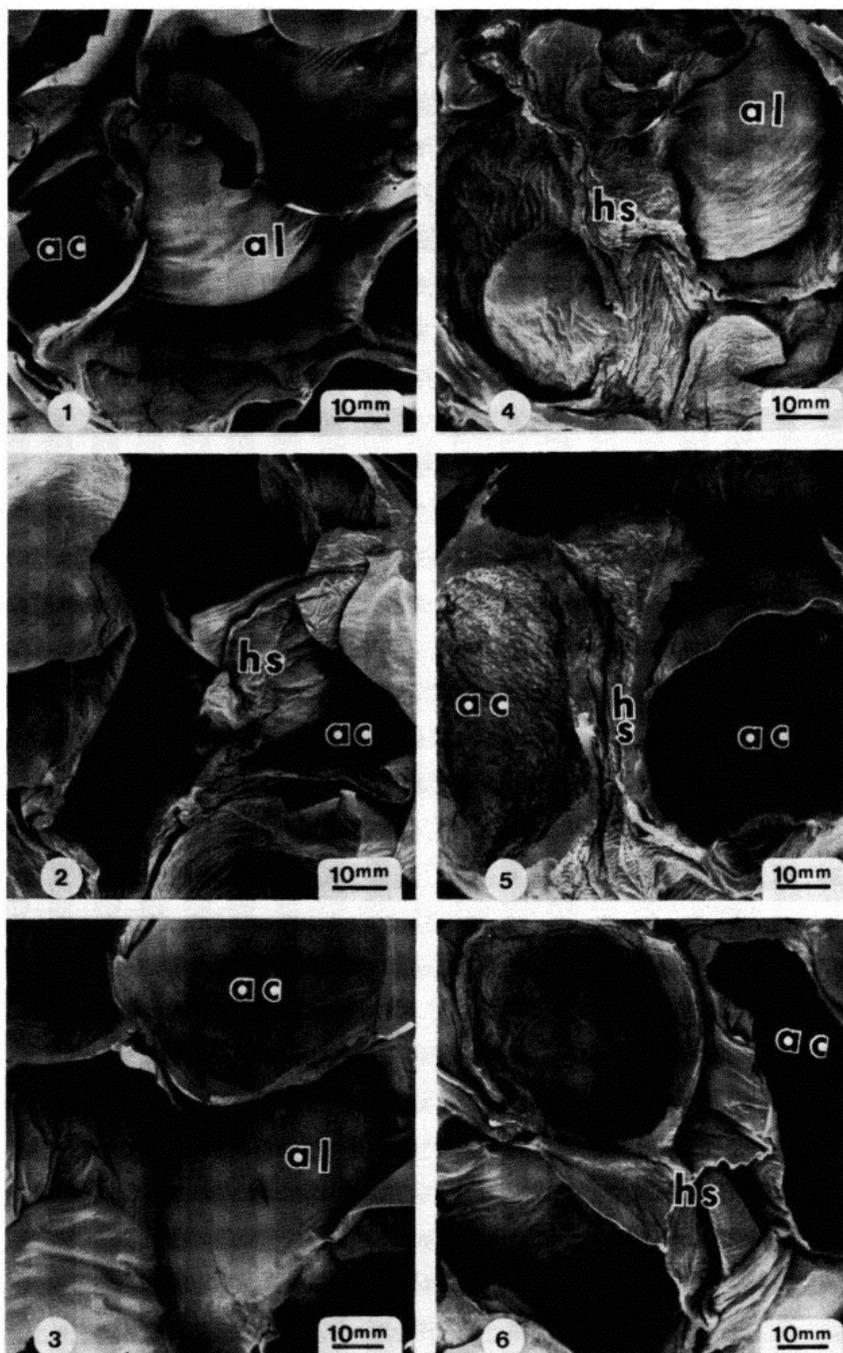


Figura 6. Micrografias eletrônicas de varredura de amido de milho extrudado (seção transversal). As condições de extrusão são apresentadas em termos de temperatura, umidade e velocidade do parafuso com as características estruturais indicadas como cavidades de ar (ac), lóbulo de ar (al) e estruturas endurecidas (hs).

Fonte: OWUSU-ANSAH, VOORT e STANLEY (1984).

Segundo as conclusões do trabalho de LONG, YU e CHRISTIE (2005), o grau de orientação estrutural para materiais à base de amido pode não ser alcançado na mesma medida que os polímeros convencionais, como a poliolefina devido às ligações cruzadas físicas por ligações de hidrogênio e um peso molecular mais alto. A amilopectina gelatinizada forma microestruturas exclusivas: bola de gel e super-globo. A orientação não afeta a taxa de cristalização da amilopectina por causa de estruturas de tipo bola de gel e super-globo. As bolas de gel e super-globo podem ser deformadas sob tensão de cisalhamento, orientados ao longo da direção da extrusão. Contudo, a deformação das bolas de gel e super-globo fez com que as cadeias de polímero dentro do globo se orientem significativamente. A orientação aumentou o módulo e a tensão de escoamento, mas diminuiu o alongamento. O efeito da orientação no módulo, a tensão de escoamento e o alongamento eram dependentes na razão amilose/amilopectina. As diferenças de módulo e elasticidade entre as duas direções são maiores para materiais ricos em amilose; as diferenças de alongamento são maiores para materiais ricos em amilopectina. Quanto maior o teor de amilopectina, menor o alongamento na direção de extrusão transversal. O modelo de bola de gel e super-globo foi usado para explicar a relação entre microestruturas e propriedades mecânicas. O modelo também pode ser usado para explicar outras propriedades à base de materiais amiláceos, como comportamento de processamento e tempo de relaxamento.

Considerando o manifestado por ZHANG et al., (2014), os grânulos de amido nativo são biosinteticamente montados como estruturas semicristalinas, que consistem em estruturas amorfas e regiões cristalinas. Tanto as cadeias de amilose quanto os ramos da amilopectina formam hélices duplas, que por sua vez se associam e formam domínios cristalinos. A aplicação do raio X difração (XRD) no estudo da cristalinidade do amido tem mostrado que existem três padrões de cristais de difração de raios-X em grânulos de amido, nomeadamente tipos A, B e C. Em um tipo A, rede de cristal, as hélices duplas são embaladas em uma antiparalela forma formando uma célula unitária ortorrômbica, resultando em quase uma embalagem fechada hexagonal. Amidos de cereais (arroz, trigo e milho) exibem um padrão tipo A. Em grânulos de tipo B, as hélices duplas também empacotam de maneira antiparalela, mas formam uma célula hexagonal unitária com duas hélices por célula, deixando um canal aberto que é preenchido com moléculas de água. Em contraste em grânulos de amido, tipo A esta coluna de água é substituída por uma dupla hélice. Tubérculos, frutas e amidos de milho com alto teor de amilose (> 40%) exibem um padrão tipo B. O grânulo do tipo C é considerado uma estrutura intermediária dos tipos A e B, observada para amidos de sementes de leguminosas. No padrão DRX, o cristal tipo A, a rede mostra três picos fortes em 5,8; 5,2 e 3,8 Å. Tipo B grânulos mostram um pico em 15,8-16,0 Å, uma ampla intensidade em aproximadamente 5,9 Å, uma linha forte em 5,2 Å, e uma linha dupla de média intensidade em 4,0 e 3,7 Å; o grânulo tipo C é idêntico aos grânulos do tipo A exceto para a adição de uma taxa de crescimento de 2 °C/min. Tg pode

ser definida como o ponto médio entre o início da queda em o módulo de armazenamento ou picos delta (ZHANG, et al., 2014).

Num outro trabalho, referente à expansão de extrudados, ZHANG & HOSENEY (1998) comentaram que em pequenas diferenças nos conteúdos de proteínas e lipídios do milho os expandidos com propriedades de expansão fracas e boas não foram consideradas responsáveis por suas propriedades de extrusão diferentes. A diferença na distribuição das classes de proteínas entre as duas amostras também era pequena e, portanto, foram consideradas improváveis de ser responsáveis pelas diferenças nas propriedades de extrusão. A farinha de milho que produziu um pellet de milho mal expandido teve um tamanho de partícula maior combinado com um número maior de partículas opacas. Partículas de maior tamanho, por si só causaram, baixa expansão; contudo, a diferença no tamanho das partículas entre o milho bom e o milho ruim os expandidos eram relativamente pequenos e não totalmente responsáveis pela diferença na expansão. O milho ruim também teve um número maior de partículas opacas. Os pequenos vazios no endosperma opaco agem como capilares e diminuem o volume da expansão. Como resultado, menos água tinha disponível para hidratação das partículas vítreas. No tempo limitado disponível para maiores transformações, a plastificação dessas partículas é insuficiente pela presença de água. As partículas não se fundiram durante a extrusão e têm sido retidos do seu estado original no produto final. A presença de partículas vítreas não fundidas resultaram em boa expansão.

### **1.10 Aspectos relacionados aos parâmetros de extrusão, matéria prima e seus efeitos nos extrudados**

#### *- Torque e energia mecânica específica na extrusão*

Uma das determinações para avaliar o processo de extrusão é o torque (Nm) provocado pelo esforço mecânico do material dentro da extrusora. Especialmente importante porque é uma medida do consumo de energia do sistema de extrusão e também permite avaliar parte dos custos de produção. Essas medidas relacionam o trabalho mecânico e as forças de cisalhamento no produto. Quanto maior o valor, maior a energia mecânica de entrada (AHMED, 1999). Dependendo da composição química, tamanho de partícula, formulação proposta no processo, quantidade de umidade adicionada, diâmetro, tamanho e formato da matriz, configuração do parafuso, o torque terá determinado valor. Isto implica, que processar farinha de mandioca por exemplo, que na sua composição possui baixos valores de proteína (cerca de 1,5%) e mínimos teores de lipídios (0,3%), será diferente quanto ao esforço mecânico, que processar farinha de feijão, pois este último possui cerca de 35% de proteína, lipídios cerca de 2%.

Segundo GUERERO et al (2012), em uma operação de extrusão típica, as duas principais fontes de energia associadas à mudança de entalpia do extrudado são a

transferência de calor por convecção entre o barril quente ou frio do material, e a dissipação viscosa da energia mecânica em calor dentro do material (HARPER, 1989, WANG, 2018). A taxa de transferência de calor por convecção é proporcional à quantidade de área de contato entre o barril e o material que flui, enquanto o calor gerado devido à dissipação viscosa é proporcional ao volume do material. As extrusoras de parafuso duplo têm uma capacidade consideravelmente maior de troca de calor do que as extrusoras de parafuso único. Além disso, a direção da rotação do parafuso, o seu formato, a sua configuração e a posição relativa das seções do parafuso minimizam os fluxos de pressão e vazamento. Em uma extrusora de dupla rosca co-rotativa, a dissipação viscosa da energia mecânica predomina, especialmente em baixos teores de umidade, tornando o processo de extrusão altamente eficiente em termos energéticos e de baixo custo. A energia mecânica específica (EME) é a quantidade de energia mecânica dissipada como calor no interior do material, expressa por unidade de massa do material. Especificamente, é a entrada de trabalho do motor de acionamento no material sendo extrudado e, portanto, fornece uma boa caracterização do processo de extrusão (GUERRERO et al., 2012).

Segundo HARPER (1989), a extrusão térmica expõe os ingredientes proteicos a alta temperatura, alta pressão e cisalhamento mecânico, o que converte a proteína de soja em uma “fusão” plástica contínua, resultando na desnaturação da proteína e redução da solubilidade. Dentro do processo, as frações solúveis em água da proteína de soja (globulinas 7S e 11S) passam por um complexo padrão de reação de associação-dissociação (CHEFTEL et al., 1986). Um dos efeitos da extrusão é desmontar proteínas e então remontá-las por ligações dissulfeto, ligações de hidrogênio e interações não covalentes formando extrudados de estrutura fibrosa. No entanto, foi demonstrado que o processamento de extrusão de folhas de proteína de soja contendo baixas partes de glicerol resultou em materiais muito quebradiços após a perda de umidade (ZHANG et al., 2001), de modo que o uso de teores de glicerol mais elevados parece ser necessário para tornar as cadeias de proteínas móveis. A quebra de ligações intermoleculares que estabilizam a proteína em sua estrutura primitiva, bem como a orientação e reestruturação das cadeias com a formação de novas ligações intermoleculares, estabiliza a rede tridimensional formada.

#### *- Características do grão e tamanho de partícula*

Os produtos extrudados expandidos também são caracterizados pela sua crocância, através da textura instrumental e cor (CARVALHO, et al. 2010). As características sensoriais que são fornecidas pelas propriedades intrínsecas dos grãos de milho normais, cujo endosperma é geralmente composto por aproximadamente 25% de amilose e 75% de amilopectina (SHAIK et al. 2014), fazem com que os extrudados resultantes sejam de excelente aceitabilidade pelos consumidores.

Vários estudos têm reportado que a distribuição do tamanho de partícula tem muita

relação e importância com os resultados de expansão e da sua microestrutura formada com os diferentes parâmetros de manejo no processo de extrusão (SHEVKANI, 2007). Comercialmente são distribuídos *grits* com diferentes perfis granulométricos. Na **Tabela 4** são expostos diferentes tipos de *grits* que são comercializados pela empresa *Milhão Alimentos* (Goiânia, Brasil). Os fabricantes de *snacks* utilizam estes produtos segundo o tipo de expansão e microestrutura esperada para determinado produto (AL-RABADI et al., 2011).

% Retenção nas peneiras (ABNT):	<i>Snackmix</i> 200	<i>Snackmix</i> 300	<i>Snackmix</i> 400
14 (1,410 mm)			Máx. 15,0
16 (1,180 mm)		Máx. 1,0	Máx. 40,0
20 (0,850 mm)	Máx. 2,0	Mín. 60,0	Máx. 40,0
25 (0,710 mm)	20,0-40,0	Máx. 30,0	Máx. 10,0
40 (0,425 mm)	Mín. 50,0	Máx. 10,0	Máx. 2,00
50 (0,300 mm)	Máx. 10,0	Máx. 2,0	Máx. 1,00
Fundo	Máx. 3,0	Máx. 1,0	Máx. 0,00

Tabela 4. Distribuição granulométrica para *Snackmix* 200, 300 e 400 (Milhão Alimentos).

#### - Microestrutura

O uso da micrografia (MEV) é uma constante na tentativa de verificar mudanças na microestrutura de produtos submetidos a processo térmicos de materiais amiláceos. Diversos trabalhos têm sido apresentados mostrando os efeitos dos parâmetros de extrusão em diferentes cereais, tais como milho, sorgo, trigo, aveia, entre outros (BATTERMAN-AZCONA; LAWTON; HAMAKER, 1999; CHEN et al., 2011; FITCH-VARGAS et al., 2016).

A micrografia da **Figura 7** em MEV apresenta o *grits* de milho cru e expandido do subconjunto de fração de peneira 180. A microestrutura do *grits* de milho crua revelou grandes partículas fraturadas (250x) com as partículas arredondadas menores, possivelmente grânulos de amido intactos liberados durante a moagem, aderindo à superfície (**Figura 7a**). A imagem de superfície com maior ampliação (2500x) mostrou células individuais irregulares (**Figura 7b**) sem evidência de danos à integridade da parede celular. Como resultado da severidade do cisalhamento do amido. A microestrutura de fubá de milho cru (**Figura 7b**) contrasta com o fubá de milho expandido (CARVALHO et al., 2010).

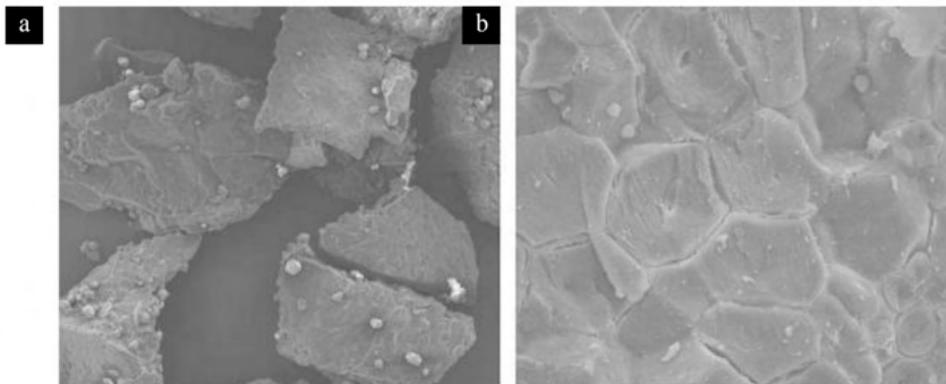


Figura 7. Micrografias eletrônicas de varredura da fração de fubá de milho cru 180: (a) ampliação de 250x e (b) ampliação de 2500x. Fonte: CARVALHO et al. (2010).

### 1.11 Utilização da eletroforese na identificação e modificação das zeínas de grãos de milho e extrudado

O milho geralmente contém 8 – 9% de proteína, das quais ~60% são zeínas (HAMAKER B.R. et al., 1995; WONG et al., 2009), a proteína de armazenamento do milho. As zeínas são prolaminas localizadas em organelas esféricas chamadas corpos proteicos com uma região periférica ligada a pontes dissulfeto (LENDING; LARKINS, 1989). Eles são subdivididos em três classes principais,  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , que diferem no peso molecular, localização dentro dos corpos proteicos e sequência de aminoácidos.  $\alpha$ -Zeína, que constitui 75-85% do zeína total, está localizada na porção central do corpo da proteína e é composta por dois polipeptídeos de 22.000 e 19.000 (LENDING; LARKINS, 1989).  $\alpha$ -Zeína contém grandes quantidades dos aminoácidos glutamina e leucina, bem como outros aminoácidos hidrofóbicos.  $\beta$ -Zeína, que representa 10-15% da zeína, é feito de um polipeptídeo rico em metionina 14.000.  $\gamma$ -Zeína, que constitui 5-10% da zeína, é feito de dois polipeptídeos ricos em prolina de 27.000 e 16.000.  $\beta$  e  $\gamma$ -Zeínas estão localizados na periferia da proteína (LENDING; LARKINS, 1989) e contêm quantidades menores de leucina e outros aminoácidos hidrofóbicos, e muito mais quantidades de cisteína do que  $\alpha$ -zeína. As zeínas tem muitas características baseadas principalmente em sua natureza altamente hidrofóbica. Eles podem formar filmes resistentes à água e são usados de forma limitada industrialmente. Não se sabe como as zeínas influenciam os parâmetros textuais em produtos de cereais matinais ou em outros alimentos processados (BATTERMAN-AZCONA; LAWTON; HAMAKER, 1999).

Na **Figura 8**, apresenta-se os resultados de SDS-PAGE de BATTERMAN-AZCONA et al. (1999), na qual mostramos os picos proteicos de farinhas cruas e processadas. Nesse trabalho os autores concluíram que no processo convencional dos *corn flakes*, os corpos proteicos se apresentavam achatados ou deformados, porém, a maior parte ainda intacta, e as  $\alpha$ -zeínas foram apenas parcialmente liberadas. Já para os flocos de milho elaborados por

extrusão, os corpos proteicos foram completamente destruídos e a  $\alpha$ -zeína ficou dispersa. Portanto, o processo de extrusão parece ser muito mais severo do que o processo de flocagem por rolos adotado pela indústria de *corn flakes*. O procedimento por *drum drying* não alterou a forma do corpo da proteína, por outro lado, por extrusão, o cisalhamento ou pressão durante o processamento pode fisicamente deformar ou interromper os corpos proteicos causando a liberação de zeína (BATTERMAN-AZCONA; LAWTON; HAMAKER, 1999).

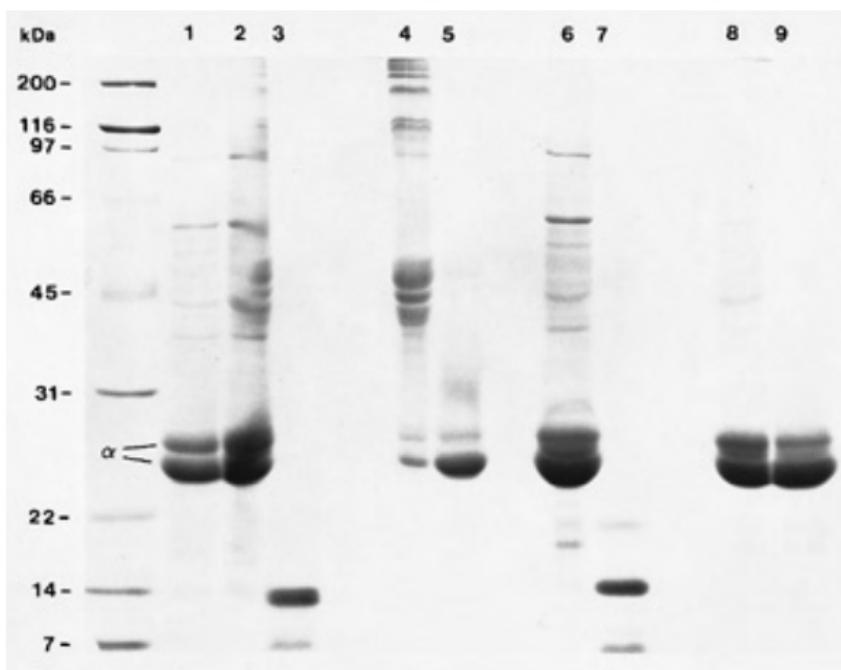


Figura 8. SDS-PAGE dos picos de proteína 1 e 2 obtidos por exclusão de tamanho cromatografia de amostras de farinha de milho não cozida e cozida. Pistas 1 – 5 são amostras não reduzidas; as pistas 6 – 9 são amostras reduzidas. Pistas: 1, milho controle de farinha; 2, pico 1 de crus; 3, pico 2 de crus; 4, pico 1 de cozinhou; 5, pico 2 de cozido; 6, pico 1 de crus; 7, pico 2 de milho cru; 8, pico 1 de milho cozido; 9, pico 2 de amostras de farinha de milho cozida. Fonte: BATTERMAN-AZCONA et al. (1999).

LAWTON (1992), mostrou que misturando zeína isolada, amido de milho, e água a temperaturas  $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se forma uma massa viscoelásticas contendo uma extensa rede de fibra de proteína semelhante ao trigo.

De acordo com ZACHARIUS et al. (1969), a eletroforese em gel de poliacrilamida provou ser uma excelente ferramenta para a separação de proteínas e glicoproteínas de origem vegetal e animal. Uma série de procedimentos de coloração eficazes estão disponíveis para detectar bandas de proteínas, empregando corante preto no amido, nigrosina, *Coomassie Brilliant Blue* e *Procion Blue R.S*. Geralmente, alguma modificação

da técnica de ácido periódico-Schiff (PAS) tem sido aplicada à detecção de glicoproteínas após eletroforese em papel, acetato de celulose e géis de acrilamida (ZACHARIUS et al., 1969). De acordo com a **Figura 1.9** pode ser verificado em (a) a posição das  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$ -zeínas, respectivamente, observando-se que  $\alpha$ -zeínas, têm duas bandas uma de 19 kDa e outra 22 kDa.

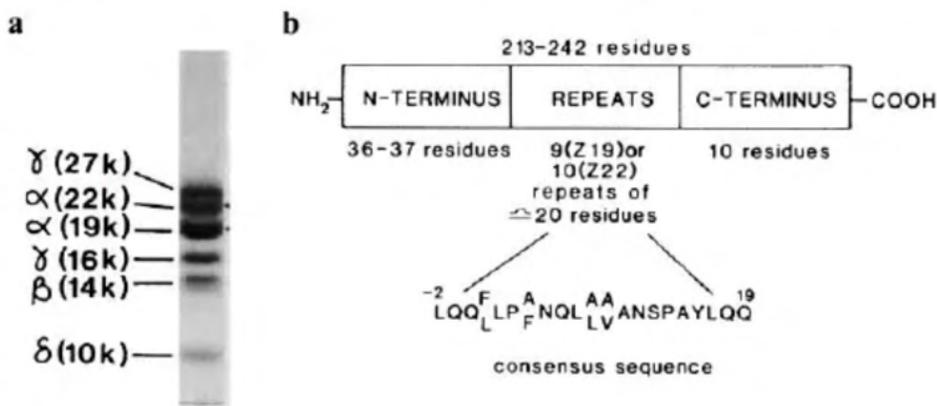


Figura 9. SDS-PAGE unidimensional de zeínas totais de milho. (b) Estruturas esquemáticas do Mr 19000 (Z19) e Mr 22000 (Z22) uma -zeínas de milho. Fonte: SHEWRY e HALFORD (2002).

De acordo com LAEMMLI (1970), usando um método melhorado de eletroforese em gel, muitas proteínas até então desconhecidas foram encontradas no bacteriófago T4 e algumas delas foram identificadas com produtos de genes específicos. Quatro componentes principais da estrutura foram clivados durante o processo de montagem. Aparentemente, depois que as proteínas precursoras se reuniram em alguma grande estrutura intermediária. Mostrando que a metodologia proposta identificaria satisfatoriamente as glicoproteínas.

Extrudados expandidos com base em grãos de milho são geralmente processados na faixa de 13 – 18% de umidade (base úmida). Apesar de haver muitos trabalhos publicados sobre o assunto (GUJRAL; SINGH; SINGH, 2001; ILO; BERGHOFER, 1999), poucos trabalhos estudaram a perda de carotenoides nesta faixa de umidade (CUETO et al., 2017; KAISANGSRI et al., 2016), relacionando-se com as propriedades físicas do extrudado, e considerando apenas o processamento de grãos de milho, como indicadores da qualidade dos produtos extrudados. Em muitos trabalhos recentes, foi enriquecido o milho (amido, grãos ou farinha) com ingredientes ricos em carotenoides (CUETO et al., 2017; KAISANGSRI et al., 2016; ORTAK et al., 2017), ou usado genótipos de milho biofortificado (ORTIZ et al., 2018; ROSALES et al., 2016) para produzir *snacks* extrudados mais saudáveis. Alguns deles avaliaram o efeito combinado de umidade e temperatura (ILO; BERGHOFER, 1999; KAISANGSRI et al., 2016; ORTIZ et al., 2018). Por meio de experimentos de um fator por vez (CHINNASWAMY; HANNA, 1988), relataram curvas de

resposta para umidade de entrada e temperatura de barril, onde uma taxa de expansão máximo para o amido de milho foi alcançado a 12,3% (base úmida) e 140 °C. Portanto, se umidade de entrada e temperatura de barril forem variados simultaneamente dentro de uma região ótima, será possível produzir *snacks* extrudados de milho com características tecnológicas e nutricionais aceitáveis.

## 2 | CONCLUSÃO

O *grits* de milho constitui uma das mais importantes matérias primas na produção de expandidos dentre os cereais. Dependendo das suas características, sejam de composição, estrutura de grão, variedade, condições pós-colheita, resultarão em produtos de qualidade para elaborar diversos produtos utilizando a extrusão termoplástica. O *grits*, produto do milho degerminado, submetido à moagem e peneiragem, proporciona produtos diferenciados quanto à granulometria, de forma que quando submetidos à extrusão permite a formação de diferentes texturas, segundo a aplicação dos parâmetros de processo. Uma das características importantes do milho e, conseqüentemente os diferentes tipos de *grits*, é que possui carotenoides, que o diferencia dos outros cereais. Os expandidos resultantes de *grits* de milho quando processados por extrusão estão sujeitos a diferentes parâmetros para alcançar as proporções e/ou graus de cozimento. Essas aplicações, quando extremas, promovem a perda de grande parte dos carotenoides. Nesse sentido, quando as aplicações desses parâmetros tais como, umidade de processamento, temperatura das zonas de aquecimento da extrusora, velocidade do parafuso, entre outros, fossem aplicados de forma otimizada, há uma significativa diferença na melhora da qualidade dos produtos. Ensaio realizados enfatizando propriedades físicas (índice de expansão, cor, absorção e solubilidade em água, viscosidade de pasta, etc.), bem como as determinações químicas, carotenoides por HPLC, separação da massa moleculares por eletroforese, corroboram o ocorrido com o material pós extrusão. Observando por um lado, texturas, porosidades do material processado, formação de dextrinas, principalmente quando excede o processo térmico, características sensoriais típicas que fazem destes produtos tenham alta aceitabilidade e qualidade nutricional.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –CAPES; à o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo auxílio às pesquisas e manutenção do PPGCTA-UFRJ, Brasil.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA-ESTRADA, B. A.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Minor Constituents and Phytochemicals of the Kernel. **Corn: Chemistry and Technology**, 3rd Edition, p. 369–403, 2019.
- AGBISIT, R. M. N. **Relationships between material properties and microstructure-mechanical attributes of extruded biopolymeric foams**. [s.l.] Manhattan, Kansas: Kansas State Univ., 2007.
- AHMED, Z. S. Physico-chemical, structural and sensory quality of corn-based flax-snack. **Food / Nahrung**, v. 43, p. 253–258, 1999.
- AL-RABADI, G. J. et al. Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, n. 3–4, p. 267–279, 2011.
- ARÉAS, J. A. G. Extrusion of food proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 32:4, 365-392, 1992.
- ASCHERI, J. L. R.; GERMANI, R., Protocolo de qualidade de milho. Rio de Janeiro, Embrapa Aroindústria de Alimentos, 2004. Série Documentos. 23 p.
- BAMIDELE, O. P.; EMMAMBUX, M. N. Encapsulation of bioactive compounds by “extrusion” technologies: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–19, 2020.
- BATTERMAN-AZCONA, S. J.; LAWTON, J. W.; HAMAKER, B. R. Effect of Specific Mechanical Energy on Protein Bodies and  $\alpha$ -Zeins in Corn Flour Extrudates. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 2, p. 316–320, 1999.
- BIER, J. M. Structural Changes and Chain Mobility during Processing of Bloodmeal-Based Thermoplastics. A thesis. Doctor of Philosophy in Engineering. The University of Waikato. Hamilton, New Zealand. 2013
- BORSARELLI, C. D.; MERCADANTE, A. Z. Thermal and photochemical degradation of carotenoids. In: LANDRUM, J. T. (Ed.). **Carotenoids physical, chemical, and biological functions and properties**. [s.l.: s.n.]. p. 229–253.
- BRENT, J. L. et al. Thermomechanical Glass Transition of Extruded Cereal Melts. **Journal of Cereal Science**, v. 26, n. 3, p. 301–312, 1997.
- BRESSANI, R. (2010). INCAP studies of vegetable proteins for human consumption. **Food and Nutrition Bulletin**, vol. 31, no. 1 © 2010, The United Nations University.
- CAMIRE, M. E. e KING, C. C. Protein and Fiber Supplementation Effects on Extruded Cornmeal Snack Quality. **Journal of Food Science**, v.56, n.3, p. 760 -763. 1991.
- 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, 2010.
- CHARLTON, S. J. AND EWING, W. N. The vitamin directory, England: Context Products Ltd. 2007.
- CHEFTEL, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. **Food Chemistry**, v.20, n.4, p.263-283, 1986.
- CHEN, P. et al. Internal structures and phase-transitions of starch granules during gelatinization. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 4, p. 1975–1983, 2011.

- CHEN, H. et al. Effects of extrusion on structural and physicochemical properties of soluble dietary fiber from nodes of lotus root. **LWT**, v. 93, p. 204-211, 2018.
- CHINNASWAMY, R.; HANNA, M. A. Optimum Extrusion-Cooking Conditions for Maximum Expansion of Corn Starch. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 3, p. 834–836, 1988.
- COLONNA, P. et al. Flow, mixing and residence time distribution of maize starch within a twin-screw extruder with a longitudinally-split barrel. **Journal of Cereal Science**, v. 1, n. 2, p. 115–125, 1983.
- CUETO, M. et al. Carotenoid and color changes in traditionally flaked and extruded products. **Food Chemistry**, v. 229, p. 640–645, 2017.
- DOBRA SZCZYK, B. J. et al. Baking, Extrusion and Frying. **Food Processing Handbook**, p. 237–290, 2006.
- DUVICH, D. N. Proteins granules of maize endosperm cells. **Cereal Chemistry**, v.38, p. 374 - 385. 1961.
- EMIN et al. Retention of  $\beta$ -carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking, **LWT - Food Science and Technology**, V.48, n.2, p. 302-307, 2012.
- ESEN, A. Separation of Alcohol-Soluble Proteins (Zeins) from Maize into Three fractions by Differential Solubility. **Plant Physiol.** 80, 623-627, 1986.
- FENGWEI, X.; PETER J. H.; LUC A. Rheology to understand and optimize processability, structures and properties of starch polymeric materials, **Progress in Polymer Science**, v. 37:4, p. 595-623, 2012
- FITCH-VARGAS, P. R. et al. Physicochemical and Microstructural Characterization of Corn Starch Edible Films Obtained by a Combination of Extrusion Technology and Casting Technique. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 9, p. E2224–E2232, 2016.
- GODAVARTI, S.; KARWE, M. V. Determination of specific mechanical energy distribution on a twin-screw extruder. **Journal of Agricultural and Engineering Research**, v. 67, n. 4, p. 277–287, 1997.
- GONZALEZ, R. J., DE GREEF, D. M., TORRES, R. L., BORRAS, F. S., & RO BUTTI, J. Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on properties of products obtained with grits from two commercial maize cultivars. **LWT-Food Science and Technology**, 37(2), 193-198. 2004.
- GUERRERO et al. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content, **Journal of Food Engineering**, v.110, n.1 p., p. 53-59, 2012.
- GUJRAL, H. S.; SINGH, N.; SINGH, B. Extrusion behaviour of grits from flint and sweet corn. **Food Chemistry**, v. 74, n. 3, p. 303–308, 2001.
- GUZMAN-TELLO, R.; CHEFTEL, J. Colour loss during extrusion cooking of  $\beta$ -carotene-wheat flour mixes as an indicator of the intensity of thermal and oxidative processing. **International Journal of Food Science and Technology**, 25(4), 420e434, 1990.
- HAMAKER B.R. et al. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. **Cereal chemistry**, v. 72, n. 6, p. 583–588, 1995.
- HARPER J. M. Food Extrusion. J.M. Extrusion of foods, Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, FL p. 1-3, 1981.
- HARPER, J. M. Effects of extrusion processing on nutrients. In Nutritional Evaluation of Food Processing, 3rd ed., New York, USA: Van Nostrand Reinhold Company. 1988.

HOF, J. Vitamin and mineral retention and sensory evaluation of extruded fortified rice. Theses, Cornell University Library. 2006. <http://hdl.handle.net/1813/3934> (website accessed Set, 2021)

ILO, S.; BERGHOFER, E. Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 1, p. 73–80, 1999.

KAISANGSRI et al. Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 391–399, 2016.

KAUR, N.; SINGH, B.; SHARMA, S. Comparison of quality protein maize (QPM) and normal maize with respect to properties of instant porridge, **LWT**, v. 99, p. 291-298, 2019.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. **Nature** **1970 227:5259**, v. 227, n. 5259, p. 680–685, 1970.

LAWTON, J. W. Viscoelasticity of zein-starch doughs. **Cereal chemistry**, v. 69, n. 4, p. 351, 1992.

LENDING, C. R.; LARKINS, B. A. Changes in the zein composition of protein bodies during maize endosperm development. **The Plant Cell**, v. 1, n. 10, p. 1011–1023, 1989.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46 p. 207–219, 2007.

MARTY, C.; BERSET, C. Factors Affecting the Thermal Degradation of all-trans- $\beta$ -Carotene. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 4, p. 1063–1067, 1990.

MILHÃO ALIMENTOS. (<https://milhao.net/industria-alimenticia/grits-de-milho-snack-400/>). Retirado da web, em 07-07-2021.

NATTAPON et al. Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 391–399, 2016.

NOR et al. The Development of Expanded Snack Product Made from Pumpkin Flour-Corn Grits: Effect of Extrusion Conditions and Formulations on Physical Characteristics and Microstructure. **Foods**, v.2, 160-169, 2013.

OLLETT et al. Microstructural changes during the twin-screw extrusion cooking of maize grits, **Carbohydrate Polymers**, v.13, n.1, p. 69-84, 1990.

ORTAK, M. et al. Changes in functional properties and in vitro bioaccessibilities of  $\beta$ -carotene and lutein after extrusion processing. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 11, p. 3543–3551, 2017.

ORTIZ-CRUZ, R. A. et al. Effect of Extrusion Processing Conditions on the Phenolic Compound Content and Antioxidant Capacity of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bran. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, n. 2, p. 252–257, 2020.

ORTIZ, D. et al. Carotenoid Stability during Dry Milling, Storage, and Extrusion Processing of Biofortified Maize Genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 18, p. 4683–4691, 2018.

OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F. R.; STANLEY, D. W. Textural and Microstructural Changes in Corn Starch as a Function of Extrusion Variables. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, v. 17, n. 2, p. 65–70, 1984.

PAZNOCHT et al. Carotenoid and color changes in traditionally flaked and extruded products. **Food Chemistry**, v. 229, p. 640–645. 2017.

PÉREZ, S.; BERTOFT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch - Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389–420, 2010.

PETER R. SHEWRY; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, n. 370, **Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue**, pp. 947–958, 2002.

PEZZATO, L. E. Use of extruded feed in fish food. In *Advances in Extrusion Technology*, Edited by: Chang, Y. K. and Wang, S. 35–40. Lancaster, USA: Technomic Publishing. 1998.

POMERANZ, Y. *Modern Cereal Science and Technology*. New York. Hardcover. 1987.

RIAZ, M. N.; ASIF, M.; ALI, R. Stability of Vitamins during Extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 49(4), 361–368, 2009.

ROBUTTI, J. et al. Endosperm properties and extrusion cooking behavior of maize cultivars. **LWT - Food Science and Technology**, v. 35, n. 8, p. 663–669, 2002.

ROSALES, A. et al. Effect of Traditional and Extrusion Nixtamalization on Carotenoid Retention in Tortillas Made from Provitamin A Biofortified Maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 44, p. 8289–8295, 2016.

ROST, T. L.; LERSTEN, N. R. Transfer aleurone cells in *Setaria lutescens* (Graminae). **Protoplasma**, 71: 403–408, 1970.

SCHWEIZER et al. Asp, Influence of drum-drying and twin-screw extrusion cooking on wheat carbohydrates, II, effect of lipids on physical properties, degradation and complex formation of starch in wheat flour, **Journal of Cereal Science**, v. 4, n. 3, p. 249-260. 1986.

SHAHNOOR et al. Bioengineering affects cereal grain germination and seedling establishment. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 9, p. 2257–2270, 2014.

SHAIK et al. Starch bioengineering affects cereal grain germination and seedling establishment. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 9, p. 2257–2270, 2014.

SHEWRY, P. R. Improving the protein content and composition of cereal grain. **Journal of Cereal Science**, 46, 239–250, 2007.

SHUJUN et al. New insights on the mechanism of acid degradation of pea starch. **Carbohydrate Polymers**, 87, p. 1941-1949, 2012.

STANLEY D. W.; DEMAN J. M. Structural and mechanical properties of textured proteins. **Journal Texture Studies**, v. 9, p. 59, 1978.

STEEL et al. Thermoplastic Extrusion in Food Processing. Capítulo 13. In: *Thermoplastic Elastomers*. Ed. Adel El-Sonbati. IntechOpen Book Series, 2012.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W. **Desenvolvimento de extrudados expandidos à base de cereais integrais**. Departamento de Tecnologia de Alimentos [Tese de doutorado]. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2019.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1564–1580, 2013.

WONG, J. H. et al. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. **Journal of Cereal Science**, v. 49, n. 1, p. 73–82, 2009.

XIE, F.; HALLEY, L. Avereous Rheology to understand and optimize processability, structures and properties of starch polymeric materials, **Progress in Polymer Science**, 37, pp. 595-623, 2012.

XU et al. Morphological characteristics of endosperm in different regions of maize kernels with different vitreousness, **Journal of Cereal Science**, V.87, p. 273-279, 2019.

XUA et al. Morphological characteristics of endosperm in different regions of maize kernels with different vitreousness. **Journal of Cereal Science**, 87 p.273-279, 2019.

YANNIOTIS, S. ; PETRAKI, A.; SOUMPASI, E. Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch, **Journal of Food Engineering**, v.80, n. 2, p. 594-599, 2007.

YU, L.; CHRISTIE, G. Microstructure and mechanical properties of orientated thermoplastic starches. **Journal of Materials Science**, v. 40, p.111–116, 2005.

ZACHARIUS, R. M. et al. Glycoprotein staining following electrophoresis on acrylamide gels. **Analytical biochemistry**, v. 30, n. 1, p. 148–152, 1969.

ZHANG, H.; GAO, R.; DONG, S. Anatomical and Physiological Characteristics Associated with Corn Endosperm Texture. **Agronomy Journal**, 103(4), 1258, 2011.

ZHANG, W.; HOSENEY, R. C. Factors Affecting Expansion of Corn Meals with Poor and Good Expansion Properties. **Cereal Chemistry**. 75(5):639-643, 1998.

ZHANG, Y.; REMPEL, C.; LIU, L. Thermoplastic Starch Processing and Characteristics—A. Review, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 54:10, 1353-1370, 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Açaí 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 83, 84, 85, 92, 93

Adultos 65

Alimentação saudável 63, 68, 70

Alimentos funcionais 33, 64

Análise de alimentos 33, 38

### B

Barbeiro 83

### C

Características morfológicas 1

Carotenoides 1, 7, 15, 16, 26, 27

Checklist 53, 54, 55, 56, 58, 60

Conservação de frutas 33

Conservantes naturais 40, 41, 42, 45

### E

Eletroforese 1, 24, 25, 26, 27

### G

Grits 1, 2, 6, 7, 17, 18, 22, 23, 24, 27, 29, 30

### I

Interdisciplinaridade 63, 68

### M

Microestrutura 1, 5, 11, 17, 18, 23

Minerais 16, 43, 54, 64, 68

### P

Perfil epidemiológico 83, 86

Procedimentos operacionais padronizados 53, 60

Processamento 1, 2, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 20, 22, 25, 26, 27, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 65

Própolis 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

### Q

Queijos 3, 41, 43, 45, 48, 49, 52

### S

Segurança alimentar 53, 55, 59, 85

### T

Transmissão oral 83, 92

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



# ALIMENTOS: TOXICOLOGIA E MICROBIOLOGIA & QUÍMICA E BIOQUÍMICA

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



# ALIMENTOS: TOXICOLOGIA E MICROBIOLOGIA & QUÍMICA E BIOQUÍMICA