

Realidades e perspectivas em Ciência dos Alimentos

Volume II

Wesclen Vilar Nogueira
Organizador



Wesclen Vilar Nogueira
(Organizador)

**REALIDADES E PERSPECTIVAS EM
CIÊNCIA DOS ALIMENTOS
VOLUME II**



Pantanal Editora

2020

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2020 Os Autores
Copyright da Edição© 2020 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora
Edição de Arte: A editora. Capa e contra-capas: canva.com
Revisão: O(s) autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Me. Ernane Rosa Martins – IFG
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Prof. Dr. Leandro Argente-Martínez – ITSON (México)
- Profa. Msc. Lidiane Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Dra. Patrícia Maurer
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI

- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI
- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Esp. Camila Alves Pereira
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
R288	<p>Realidades e perspectivas em Ciência dos Alimentos [recurso eletrônico] : Volume II / Organizador Wesclen Vilar Nogueira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 120p.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-88319-27-7 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319277</p> <p>1. Alimentos – Análise. 2. Compostos bioativos. 3. Tecnologia de alimentos. I. Nogueira, Wesclen Vilar.</p> <p style="text-align: right;">CDD 664.07</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos livros e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es). O download da obra é permitido e o compartilhamento desde que sejam citadas as referências dos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

Neste segundo volume do E-book *Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos* as áreas de abrangência das pesquisas foram expandidas, contribuindo para o acesso ao conhecimento numa linguagem contextualizada e de fácil compreensão.

As pesquisas e reflexões abordadas nos capítulos foram realizadas por pesquisadores de diversas unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Instituições de Ensino Superior (IES) públicas (Universidade Federal do Amazonas, Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal de Rondônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Universidade Federal do Rio Grande, Universidade do Estado do Amazonas, Universidade Estadual do Ceará, Universidade Tecnológica Federal do Paraná) e privadas (Centro Universitário IDEAU).

O conteúdo abordado demonstra a multidisciplinaridade da área de Ciência dos Alimentos sobre diferentes aspectos e realidades. As pesquisas abordam desde o emprego de compostos bioativos na produção de alimentos, desenvolvimento de novos produtos, avaliação da composição química e microbiológica de *commodities*, até alternativas para reutilização de resíduos agroindustriais na produção de alimentos.

Que o E-book *Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos* seja de grande proveito e, ofereça subsídios teórico-metodológicos para profissionais da área de Ciência dos Alimentos e áreas afins.

Wesclen Vilar Nogueira


SUMÁRIO


Apresentação	4
Capítulo I	6
Caracterização e estabilidade do queijo coalho de leite de cabra adicionado de extrato de caju.....	6
Capítulo II	23
Extrato de caju: estabilidade da cor frente a distintas condições de processamento	23
Capítulo III	37
Determinação de parâmetros de qualidade de frutos da região amazônica durante o amadurecimento.....	37
Capítulo IV	47
Elaboração e análise sensorial do empanado artesanal de curimatã (<i>Prochilodus nigricans</i>) com diferentes farinhas de cobertura.....	47
Capítulo V	58
Avaliação de grupos microbianos em pimenta-do-reino obtidas <i>in natura</i> e por secagem em terreiros	58
Capítulo VI	67
Reintrodução de resíduos agroindustriais na produção de alimentos	67
Chapter VII	80
Peppers the genera Capsicum as bioactive compounds sources: a review	80
Capítulo VIII	104
Ocorrência de micotoxinas em grãos e sua relação com compostos fitoquímicos.....	104
Índice Remissivo	121

Ocorrência de micotoxinas em grãos e sua relação com compostos fitoquímicos


Recebido em: 23/09/2020


Aceito em: 27/09/2020

 10.46420/9786588319277cap8

Wesclen Vilar Nogueira^{1*} 

Ana Carla Penteadó Feltrin² 

Matheus Ferrazza Fantoni³ 

Jaqueline Garda Buffon⁴ 

INTRODUÇÃO

De acordo com relatório do Conselho Internacional de Grãos (IGC), a produção de milho, trigo, arroz, soja e cevada, principais grãos cultivados a nível mundial, ultrapassou 2.176 milhões de toneladas (t) em 2019, representando mais de 90% da safra de grãos (IGC, 2019). Apesar de não constarem no relatório do IGC, os cultivos de outros grãos (e.g. aveia, café, centeio, feijão, ervilha, grão de bico, fava, amaranto, quinoa, lentilha e painço) são difundidos mundialmente (FAO, 2020). Os grãos são considerados matérias-primas essenciais para diversificação dos complexos agroindustriais, apresentando papel estratégico em termos econômicos e sociais (Brasil, 2019).

A composição química dos grãos, rica em nutrientes essenciais (e.g. carboidratos, proteínas, lipídeos, fibras e minerais), garante que esses sejam utilizados como base para alimentação humana e animal, *in natura*, ou na sua forma processada (Tanumihardjo et al., 2020). Entretanto, a composição química pode tornar os grãos susceptíveis ao ataque fúngico que, dependendo das espécies fúngicas contaminantes e das condições a que são expostas, produzem micotoxinas (Seus-Arraché et al., 2018; Golge; Kabak, 2020). Micotoxinas são compostos tóxicos que interferem negativamente na produção de grãos, principalmente em termos de ingestão de um alimento seguro (Schelstraete et al., 2020; Yang et al., 2020) e aspectos econômicos (Xia et al., 2020). Dentre os gêneros fúngicos que acometem grãos e demais alimentos, destacando *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, algumas espécies toxigênicas se destacam pela frequente ocorrência e produção de micotoxinas. As espécies toxigênicas pertencentes ao gênero *Aspergillus* ocorre com maior frequência nos alimentos ainda no campo (Krnjaja et al., 2019), em contrapartida espécies pertencentes aos gêneros *Fusarium* e *Penicillium* se propagam nas culturas no campo, entretanto ocorrem com maior frequência no armazenamento (Marijani et al., 2017).

¹ Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

² Centro Universitário IDEAU – UNIDEAU.

³ Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

⁴ Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

* Autor de correspondência: wesclenvilar@gmail.com

O controle de fungos e síntese de micotoxinas nas lavouras é realizado pelo emprego de defensivos agrícolas (Lobo; Ramos, 2020). Entretanto, os grãos apresentam em sua composição compostos naturais, os fitoquímicos, que têm como função primária a proteção do grão contra microorganismos e seus metabólitos tóxicos (Silva et al., 2020), além de conferir cor, adstringência e aroma aos grãos (Angelo; Jorge, 2007). Além disso, certos fitoquímicos apresentam capacidade de sequestrar radicais livres e auxiliar, em nível celular, os danos relacionados ao desenvolvimento de diversas doenças como câncer e diabetes (Awika; Rooney, 2004; Lopez-Martinez et al., 2009; Montilla et al., 2011; Belobrajdic; Bird, 2013; Liu et al., 2016; Tang; Tsao, 2017). Desta forma, este capítulo tem como objetivo descrever relações entre a produção de micotoxinas e a ação protetora de compostos fitoquímicos em grãos.

COMPOSTOS FITOQUÍMICOS

Compostos fitoquímicos são definidos como compostos bioativos não nutritivos presentes em frutas, vegetais e grãos. Em particular, os grãos, contêm diversas combinações de fitoquímicos diferindo amplamente suas proporções de um para outro (Belobrajdic; Bird, 2013). O conteúdo fitoquímico em grãos é influenciado diretamente pela variedade genética e outros fatores relacionados ao ambiente de cultivo (e.g. qualidade de solo, variações pluviométricas) (Sheng et al., 2018; Sytar et al., 2018) e manejo (e.g. fertilização) (Belobrajdic; Bird, 2013). Os fitoquímicos podem ser classificados como fenólicos, alcaloides, compostos contendo nitrogênio, compostos organossulfurados, fitoesteróis e carotenóides (Liu, 2012). Destes grupos, os fitoquímicos pertencentes ao grupo dos ácidos fenólicos e dos carotenóides são os mais abrangentes e com maior ocorrência alimentos (Silva et al., 2019; Christ-Ribeiro et al., 2019).

Os fitoquímicos (e.g. fenólicos, alcaloides, compostos organossulfurados, fitoesteróis e carotenóides) (Liu, 2012; Silva et al., 2020), têm algumas propriedades protetoras ou preventivas de doenças. Alguns fitoquímicos são prejudiciais aos fungos e podem ser usados para em plantações, animais, humanos, alimentos e rações como forma de prevenção contra fungos toxigênicos e consequente produção de micotoxinas (Anjorin et al., 2013). Esses compostos apresentam diferentes propriedades físico-químicas (e.g. polaridade, solubilidade, oxirredução) e podem ser encontrados dentro dos vacúolos de células vegetais ou compondo a parede celular (Wang et al., 2014). Os fitoquímicos apresentam função protetora contra a radiação ultravioleta, predadores ou microorganismos (Verruck et al., 2018). Sua presença pode variar dependendo das condições de crescimento da planta, diferenças varietais, idade de colheita, métodos de extração, condições e tempo de armazenamento.

COMPOSTOS FITOQUÍMICOS *versus* MICOTOXINAS EM GRÃOS

As micotoxinas são compostos tóxicos produzidos por espécies de fungos toxigênicas e podem ser encontrados em diversas matrizes alimentares. Existem cinco grupos principais de micotoxinas que ocorrem nos grãos: aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos, ocratoxinas e zearalenonas. As aflatoxinas possuem vários derivados, sendo os mais importantes as Aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂, sendo sua síntese relatada principalmente por fungos pertencentes ao gênero *Aspergillus*. Dentre essas, as aflatoxinas, B₁ e G₁ são encontradas com maior frequência e altas concentrações em alimentos, além disso, apresentam efeitos tóxicos a humanos e animais. Aflatoxinas de ocorrência natural foram classificadas como cancerígenas para humanos (Grupo 1) (WHO-IARC, 1993).

As fumonisinas são produzidas principalmente por fungos pertencentes ao gênero *Fusarium*. São conhecidos 16 compostos tóxicos de fumonisinas, dentre esses, a fumonisina B₁ (FB₁) apresenta destaque, devido sua ocorrência natural em altas concentrações, principalmente em milho (Scaff; Scussel, 2004; Hermanns et al., 2006). O consumo de alimentos e ração à base de milho contaminado pelo gênero *Fusarium* tem sido associado às elevadas taxas de câncer esofágico, este fato tem sido diretamente ligado à exposição à fumonisina (Thiel et al., 1991). As fumonisinas são classificadas como possíveis carcinógenos (Grupo 2) para humanos e animais (WHO-IARC, 1993).

Os tricotecenos são produzidos por várias espécies toxigênicas pertencentes ao gênero *Fusarium*. Existem aproximadamente 170 tricotecenos identificados (Marin et al., 2013), estes se dividem em 4 tipos, A, B, C e D. Os integrantes dos grupos A e B são encontrados com mais frequência em grãos. O tipo A é representado pelas Toxinas T-2 e HT-2, já o tipo B é representado por nivalenol (NIV), deoxinivalenol (DON) e seus derivados acetilados, 3-acetildeoxinivalenol (3-ADON) e 15-acetildeoxinivalenol (15-ADON) (Pestka, 2007; Foround; Eudes, 2009). Alguns dos tricotecenos são extremamente tóxicos para humanos e animais, apresentando efeito imunossupressor quando consumidos ou mesmo quando em contato com a pele (WHO-IARC, 1993).

A ocratoxina A (OTA) foi isolada pela primeira vez de *Aspergillus ochraceus* (daí seu nome) em 1965, na África do Sul. OTA é produzida por algumas espécies fúngicas pertencentes aos gêneros *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., principalmente *P. verrucosum*, fungo de solo com distribuição global, já sendo relatado em café, vinho, sucos, uvas e cerejas (Bayman; Baker, 2006). A ocorrência das OTA foi descrita em grãos como feijão seco e amendoim (Herrman et al., 2002). OTA é classificada como possíveis carcinógeno para humanos (Grupo 2) (WHO-IARC, 1993).

A zearalenona (ZEA) é sintetizada principalmente por fungos pertencentes ao gênero *Fusarium*. Sua ocorrência é relatada em milho, trigo e cevada, aveia, sorgo e arroz. A micotoxina, foi detectada em farinhas, malte, soja e cerveja (Zinedine et al., 2007). ZEA possui efeito estrogênico para humanos e

animais (WHO-IARC, 1993). Além disso, sua ingestão pode causar lesões graves para animais (ZEA e zearalenois consumidos por suínos) (Prodanov-Radulovic et al., 2013).

A produção de micotoxinas nas plantas é influenciada por um conjunto de fatores bióticos e abióticos, entre os mais importantes estão a composição de substrato, temperatura, pH, atividade de água e deficiência de nutrientes (Fontaine et al., 2015). Clima temperado e tropical favorecem o desenvolvimento de espécies fúngicas em cereais, tais como *A. flavus* produtores de aflatoxinas, *A. ochraceus* e *P. verrucosum* produtores de OTA, *F. graminearum* produtor de tricotecenos e zearalenona (Marin et al., 2013). Nas etapas seguintes à produção, transporte e armazenamento, grãos contaminados entram em contato com grãos saudáveis, o que pode aumentar os níveis de contaminação (Degraeve et al., 2016). A contaminação por micotoxinas em grãos é frequente (Tabela 1), e isto tem sido relacionado às mudanças climáticas e agrônômicas (Del Regno et al., 2015).

Os estudos apresentados, entre outros, enfatizam a presença de micotoxinas em uma variedade de grãos, gerando a necessidade de controle eficiente da síntese destes contaminantes. Controlar a biossíntese de micotoxinas é uma tarefa difícil, uma vez que a contaminação fúngica e síntese dessas toxinas podem ocorrer no campo, durante e após a colheita (Villa; Markaki, 2009), transporte, processamento e armazenamento de determinado produto (Marijani et al., 2017). Diante dos diversos efeitos tóxicos desses compostos e da alta ocorrência em nível mundial, várias nações vêm implementando regulamentos para evitar uma exposição a produtos com uma concentração elevada de micotoxinas.

Nesse sentido, existem três estratégias para evitar a possível presença de micotoxinas em alimentos: prevenção da contaminação no cultivo das plantas ou pré-colheita, cuidados no armazenamento dos grãos (Schrödter, 2004) e a descontaminação dessa matriz contaminada através de métodos físicos (Jalili et al., 2010), químicos (Jouany, 2007) e biológicos (He et al., 2010). Na primeira estratégia, melhorias podem ser alcançadas através do melhoramento genético obtendo plantas mais resistentes a proliferação de fungos (Fuchs et al., 2002). Métodos físicos de degradação não possuem ação efetiva, com baixos percentuais de eficiência (Jalili et al., 2010), e embora os produtos químicos sejam frequentemente a primeira linha de defesa contra fungos micotoxigênicos, o uso indiscriminado de pesticidas/fungicidas está despertando a percepção pública pelos seus efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana/animal (Medeiros et al., 2012).

Tabela 1. Ocorrência de micotoxinas em grãos.

Ingrediente	Micotoxinas (NMQ - $\mu\text{g kg}^{-1}$)	País	Fonte
Arroz	AFB ₁ (40,0), AFB ₂ (9,15), NIV (116,0), DAS (12,53), DON (115,0), FB ₁ (75,1), ZEN (114,0), T-2 (32,0) e OTA (24,0)	Paquistão	Majeed et al. (2018)
	NIV (34,9), DON (43,2) e ZEA (201,3)	Coreia	Ok et al. (2014)
Aveia	DON (16.005,0), T-2 (202,0) e ZEN (793,0)	Lituânia	Kochiieru et al. (2020)
Cevada	DON (1.111,3), NIV (142,5), FUS-X (17,4), 15-ADON (64,8), 3-ADON (20,1), DAS (1,7), HT-2 (200,5) e T-2 (332,0)	Espanha	Ibáñez-Vea et al. (2012)
Milho	NIV (166), HT-2 (555), T-2 (767) e DON (167)	Brasil	Milanez et al. (2006)
	BEA (1006,56), ENA (0,17), ENA ₁ (0,16) e ENB ₁ (0,32)	China	Han et al. (2018)
	FB ₁ (4700), FB ₂ (1317), DON (422) e ZEA (837)	Espanha	Tarazona et al. (2020)
Soja	AFB ₁ (1,67)	Brasil	Silva et al. (2020)
Sorgo	FB ₁ (162,67), FB ₂ (12,0), FB ₃ (400,0), T-2 (7,39), ZEN (6,67), α -ZOL (28,0) e β -ZOL (37,33)	África do Sul	Adebo et al. (2019)
Trigo	DON (2715,4), 3-ADON (172,5), 15-ADON (41,5) e NIV (85,6)	China	Dongo et al. (2016)
	DON (2.150,0) e ZEN (233,0)	Brasil	Tralamazza et al. (2016)
	DON (1590), NIV (187,5) e ADONS (428)	Brasil	Seus-Arraché et al., (2018)
	NIV (185,6), NIV-3G (26,8), DON (1.670,7), DON-3G (217,2) e 3-ADON (9,0)	Polônia	Bryła et al. (2019)

NMQ = nível máximo quantificado; α -ZOL = α -zearalenol; β -ZOL = β -zearalenol; 3-ADON = 3-acetil-deoxinivalenol; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; ADONS = 3-acetil-deoxinivalenol + 15-acetil-deoxinivalenol; AFs = aflatoxinas totais (aflatoxina B₁ + aflatoxina B₂ + aflatoxina G₁ + aflatoxina G₂); AFB₁ = aflatoxina B₁; AFB₂ = aflatoxina B₂; BEA = beauvericina; DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol; DON-3G = desoxinivalenol-3-glucosídeo; ENA = enitiana A; ENA₁ = enitiana A₁; ENB₁ = enitiana B₁; FB₁ = fumonisina B₁; FB₂ = fumonisina B₂; FB₃ = fumonisina B₃; HT-2 = toxina HT-2; NIV = nivalenol; NIV-3G = nivalenol-3-glucosídeo; OTA = ocratoxina A; T-2 = toxina T-2; ZEN = zearalenona.

Assim, há um aumento da pressão pública por uma alternativa mais segura e ecológica para controlar estes contaminantes (Medeiros et al., 2012). Também é necessário ressaltar que esses métodos podem causar grandes mudanças nas propriedades físicas dos grãos e seus produtos alimentares, bem como a perda de valor nutritivo, tornando-os inadequados para eliminar as micotoxinas dos alimentos (Tian; Chun, 2017). Neste contexto, o controle biológico usando produtos naturais presentes em extratos vegetais e óleos essenciais, se apresenta como uma alternativa promissora e fornece uma

oportunidade de evitar o emprego de compostos químicos sintéticos em grãos de cereais, o que representa risco à saúde de consumidores ocasionados pelo uso de pesticidas.

Os produtos naturais são compostos químicos ou substâncias produzidas por um organismo vivo. As plantas não têm sistema imunológico e precisam depender de outros mecanismos para se defender contra invasores de fungos. Um desses mecanismos é a síntese de compostos bioativos que agem especificamente para inibir o crescimento de fungos. Muitos extratos de plantas, particularmente óleos essenciais, são relatados por possuírem atividade antifúngica significativa (Tian; Chun, 2017). Os produtos naturais de plantas podem apresentar três atividades principais: antimicrobiana, agindo direto sobre o patógeno; indutores de resistência, ativando os mecanismos de defesa da planta através de moléculas bioativas e também como bioestimulantes do crescimento da planta (Stadnik; Talamini, 2004). Sendo assim, o emprego de produtos naturais é desejável na agricultura por serem facilmente degradados na natureza (Jermnak et al., 2012).

O emprego de óleos essenciais na inibição da biossíntese de micotoxinas e crescimento de fungos é particularmente interessante, pois estes são produtos naturais obtidos de plantas e vêm sendo considerados como fitoquímicos promissores para a preservação de cereais e seus produtos. São complexos aromáticos, voláteis e oleosos, obtidos de diferentes partes das plantas (folhas, cascas, caules, sementes, raízes, flores, botões e frutos), apresentando uma mistura de mais de 20 grupos de compostos químicos, como terpenos, álcoois, ácidos, ésteres, epóxidos, aldeídos, cetonas, aminas e sulfetos (Perczak et al., 2019). Os componentes dos óleos essenciais, como citral, cinamaldeído, eugenol e timol, exibem fortes propriedades antifúngicas, bem como a inibição da produção de micotoxinas (Wang et al., 2019).

Os óleos essenciais têm alta hidrofobicidade e alta viscosidade, portanto, podem causar distribuição irregular do óleo quando empregado em meio líquido e sólido. Em contraste, os óleos essenciais em vapor são mais uma vantagem para inibição microbiana e aplicação para proteção de alimentos e rações (Tian et al., 2012). O mecanismo antifúngico de óleos essenciais e seus compostos tem sido proposto devido ao seu caráter lipofílico, que permite que eles penetrem nas membranas celulares e interfiram no metabolismo celular, também reagindo nos processos celulares ou enzimas (Sukcharoen et al., 2017).

O tratamento por vaporização de óleo essencial obtido de *Cinnamomum porrectum* (Roxb.) Kosterm foi estudado por Sukcharoen et al. (2017), exibindo efeito de inibição no crescimento do micélio, esporulação e produção de AFB₁ de cepas de *A. parasiticus* e *A. flavus*. Para os autores, o óleo essencial representa um boa alternativa no controle ecológico de cepas aflatoxigênicas em alimentos e commodities agrícolas. Também ressaltam que a ação antiaflatoxina do óleo essencial pode estar relacionada à inibição da biossíntese de micotoxina envolvendo peroxidação lipídica e oxigenação.

Jermnak et al. (2012), verificaram que o óleo essencial de *Betula alba* inibiu a produção de aflatoxina de *A. parasiticus*, e o crescimento do fungo também foi fortemente inibido pelo óleo. Os autores relatam que obtiveram uma fração com atividade inibitória específica para a produção de aflatoxina por fracionamento em coluna de sílica gel. Seringato de metila foi isolado como um inibidor da produção de aflatoxina da fração ativa, inibindo a produção de aflatoxina de *A. parasiticus* e *A. flavus* com alta seletividade. O seringato de metila tem uma estrutura simples, além de ser um derivado de ácido gálico e é um constituinte geral aromático em plantas. O mecanismo de inibição de produção de AFB₁ ainda não está clara.

Wang et al. (2018), avaliaram o efeito antifúngico e antitoxigênico do cinamaldeído, investigando seus mecanismos de inibição do crescimento fúngico a nível morfológico e inibição da biossíntese de OTA. O estudo revela uma inibição entre 82 e 100% da produção de OTA os mecanismos da atividades antifúngicas e antitoxigênicas do cinamaldeído contra *A. ochraceus*, e ainda enfatiza que o cinamaldeído pode ser um agente natural seguro e eficaz contra a contaminação OTA durante armazenamento de cereais. Cinamaldeído causa regulação negativa de genes biossintéticos e reguladores da OTA, que por sua vez resulta na inibição do crescimento fúngico e produção de OTA. Essas descobertas enfatizam ainda mais o toxicidade do cinamaldeído em fungos e significa que este é uma boa alternativa aos fungicidas químicos e conservantes durante o armazenamento de alimentos e rações.

Boukaew et al. (2019), avaliaram a eficácia de cinco óleos essenciais de vática e seus derivados no controle de aflatoxinas produzidas por fungos *A. parasiticus* na contaminação de grãos de milho. De acordo com os autores, os óleos de vática inibiram completamente o crescimento e germinação de conídios de *A. parasiticus* TISTR 3276, demonstrando o potencial uso dos óleos no controle de aflatoxinas. Óleos essenciais também foram utilizados para inibição de fungos *F. culmorum* e *F. graminearum*, bem como de micotoxinas produzidas por essas espécies em milho (Perczak et al., 2019). O estudo reporta que o emprego de oito óleos essenciais, destacando a inibição de 68% de *F. culmorum* e redução na produção de ZEA de 68,3% quando avaliado o óleo obtido de laranja. Também enfatizam que todos os óleos essenciais testados proporcionaram uma redução significativa nos níveis de concentração dos tricotecenos do grupo B (94,5 – 100%). De acordo com ambos os estudos, os óleos essenciais não estão envolvidos em processos de degradação das micotoxinas, existindo a possibilidade de ação dos óleos essenciais na inibição da biossíntese destes compostos.

Óleos essenciais também foram empregados na inibição da produção de micotoxinas e crescimento de fungos *Alternaria alternata*, que também é um contaminante frequente em alimentos e rações derivados de cereais, frutas e vegetais (Wang et al., 2019). De acordo com os autores, a concentração fungicida mínima de citral necessária para inibição foi 890 µg mL⁻¹, pela observação de não crescimento micelial após tratamento. A biossíntese de alternariol (principal micotoxina produzida

por *A. alternata*) teve um declínio de 98,6%. Citral exibiu forte capacidade fungicida ao romper a estrutura celular, a sua integridade é essencial para a adaptação fúngica à resposta ao estresse causado por compostos tóxicos. Esse terpenoide lipofílico atravessa a membrana plasmática e causa distúrbio na integridade da membrana. O ergosterol é o principal componente dos esteróis estruturais, especialmente na membrana da célula fúngica, e qualquer alteração ocasionada ao ergosterol pode levar a maior fragilidade em resposta ao estresse, estando relacionado neste estudo a redução de ergosterol como resultado do tratamento com citral.

A influência de conservantes naturais carvacrol, eugenol, trans-cinamaldeído e o óleo essencial de *Origanum vulgare*, foi avaliada na produção de OTA e no crescimento micelial de dois fungos relacionados com alimentos, *P. verrucosum* e *A. westerdijkiae* (Schlösser; Prange, 2019). Em relação a inibição de crescimento dos fungos, os autores relatam que o crescimento de micélio de *P. verrucosum* diminuiu mais de 94,2% em 14 dias, já o micélio de *A. westerdijkiae* diminuiu mais de 83,5% no mesmo período na presença dos conservantes. Aos 14 dias, a maior inibição da micotoxina OTA foi alcançada pelo eugenol com 75,3% e a menor pelo carvacrol com 25,8%. Em 21 dias de incubação, o carvacrol, o óleo essencial de *O. vulgare*, e eugenol mostraram uma inibição entre 94,2 e 99,4%, em contrapartida com o emprego de trans-cinamaldeído a inibição foi baixa, em torno de 35,1%.

Os fitoquímicos fenólicos são a maior categoria de fitoquímicos e os mais amplamente distribuídos no reino vegetal, com destaque para 3 grupos, os flavonoides, ácidos fenólicos e polifenóis. Os flavonoides são o maior grupo de fenóis vegetais e o mais estudado. Os ácidos fenólicos formam um grupo diverso que inclui os ácidos hidroxibenzoico e hidroxicinâmico amplamente distribuídos (King; Young, 1999). A inibição de aflatoxinas por fitoquímicos fenólicos foi relatada no estudo de Pak et al. (2006), onde compostos caracterizados como flavonoides (3', 5, 7-trihydroxy-3, 4'-dimethoxyflavone e 3',4',5-trihidroxi-7-metoxiflavanona) e lactonas (enidrina e uvedalina) isolados de *Polymnia sonchifolia* apresentaram ação inibitória sobre a produção de AFB₁. O composto 3',5,7-trihidroxi-3,4'-dimetoxiflavona (15 µg mL⁻¹) inibiu 25% da produção de AFB₁ e o composto uvedalina inibiu o crescimento do fungo e a produção da micotoxina em 34% e 76%, respectivamente.

Os compostos fenólicos naturais timol, carvacrol, isoeugenol e eugenol apresentaram atividade antifumonissinas, demonstradas no estudo de Dambolena et al. (2011). No estudo a lipofilicidade dos compostos foi a propriedade molecular descrita como mais influente, sugerindo que o passo principal para atividade é atingir o interior das células fúngicas. A refratividade molar tem sido usada para explicar os efeitos eletrônicos em interações químico-biológicas e tem sido relatada ser muito valiosa na correlação dos efeitos alostéricos em interações enzima-ligante. Os autores evidenciam duas hipóteses para as atividades antifumonissinas dos compostos: (I) a atividade antifumonissinas dos compostos fenólicos pode ser devido a um aumento na fase de latência antes do crescimento do fungo e/ou

resultado de um efeito da taxa de crescimento, levando a um atraso no início do fase estacionária de crescimento; (II) durante o estresse, os fungos respondem por controlar a produção de metabólitos secundários.

O estudo de Ferruz et al. (2016) também foi conduzido para avaliar o potencial de ácidos fenólicos naturais (cafeico, ferúlico, p-cumárico e clorogênico) para o controle do crescimento micelial e produção de micotoxinas por seis espécies toxigênicas de *Fusarium*. A adição dos ácidos teve efeito de inibição total das espécies *F. graminearum*, *F. proliferatum* e *F. verticillioides* em milho em meio ágar. Os autores relatam que a biossíntese do tipo A de tricotecenos, Toxina T-2 e HT-2, por *F. sporotrichioides* foi significativamente reduzida em 90%.

A presença de compostos fenólicos também foi apontada como motivo da ausência de aflatoxinas em feijão por Telles et al. (2017). Os autores enfatizam que a inibição pode estar associada a propriedade dos compostos fenólicos de inibir a atividade da enzima amilase fúngica. O estudo associa os compostos fenólicos com o mecanismo de defesa, especialmente considerando o perfil de ácido fenólico onde o ácido gálico e clorogênico são os predominantes, enquanto nos grãos de cereais o ácido ferúlico é o principal.

Os ácidos fenólicos são predominantes em grãos de cereais, e são derivados do ácido cinâmico ou ácido benzoico. Eles incluem, em ordem decrescente de quantidade, ácido ferúlico, ácido p-hidroxibenzoico e ácido vanílico. Esses compostos foram estudados por Schöneberg et al. (2018) quanto a inibição *in vitro* de 16 micotoxinas produzidas por fungos do gênero *Fusarium* em grãos de aveia. Os autores relatam que o emprego de ácido ferúlico levou a uma faixa de redução e 97 a 100%, ácido p-hidroxibenzoico apresentou faixa de redução de 96 a 100%, já o ácido vanílico apresentou inibição total da produção das micotoxinas.

Kerlene et al. (2020) analisaram os efeitos de extratos feitos de grãos e casca de trigo sarraceno e produtos apícolas (própolis e pólen) no crescimento de fungos em meio de cultura e em grãos de trigo sarraceno, trigo, aveia e milho. Os resultados sugerem que os compostos bioativos (compostos fenólicos) contidos no grão de trigo sarraceno reduziram a quantidade de *Fusarium* spp. O extrato de casca de trigo sarraceno foi mais eficaz na inibição do crescimento micelial de *F. culmorum* e *F. graminearum* produtores de micotoxinas, em comparação com o extrato de grão de trigo sarraceno (13% – 50% e 14% – 36%, respectivamente). A atividade antifúngica de extratos de produtos apícolas não dependeu do teor de compostos fenólicos neles; no entanto, dependia da espécie de grão tratada. Após o tratamento dos grãos de aveia, trigo e milho com extratos de produtos apícolas, a menor concentração de fungos foi identificada no grão de aveia.

Silva et al. (2020) avaliaram os compostos fenólicos livres, conjugados e ligados, e seu potencial antioxidante e antifúngico, juntamente com a ocorrência de AFB₁ em soja. Os autores constataram que

os extratos fenólicos de soja conjugados (e.g. vanilina e quercetina) e ligados (e.g. protocatecólico, clorogênico e serínico) foram eficientes para a inibição da enzima α -amilase fúngica. A confirmação se deu pelos baixos níveis de AFB₁ (0,96 a 1,67 $\mu\text{g kg}^{-1}$) nas amostras de soja, confirmando o efeito protetor dos compostos fenólicos presentes na soja contra a contaminação fúngica e por essa micotoxina.

Outros fitoquímicos também são descritos por apresentar ação fitoquímica. Caceres et al. (2017) investigaram o impacto anti-aflatoxigênico da molécula de piperina. Os autores relatam que 0,04 mM de piperina permitiu uma inibição de AFB₁ de 95% com apenas um leve impacto no crescimento do micélio fúngico. O mecanismo apontado nos resultados demonstram que a piperina inibe quase todos os genes da via biossintética da aflatoxina levando a um inibição da biossíntese da micotoxina, sugerindo fortemente que a piperina inibe a produção de AFB₁ por *A. flavus* por meio da perturbação do equilíbrio do estresse oxidativo.

Menniti e Neri (2010) exploraram a capacidade de alguns compostos naturais (trans-2-hexenal, carvacrol e eugenol) no controle de *F. verticillioides* em grãos de milho armazenados, e a possibilidade de trans-2-hexenal ser usado como um biofumigante pós-colheita para reduzir a produção de fumonisina. No estudo ambos os compostos apresentaram atividade inibitória de *F. verticillioides*, a exposição a 2,46 $\mu\text{L L}^{-1}$ de trans-2-hexenal forneceu o melhor controle de *F. verticillioides* e nenhum sintoma fitotóxico ou odor desagradável nos grãos foi observado. Estes resultados mostraram que trans-2-hexenal foi eficaz no controle do fungo localizado na parte interna de grãos de milho assintomáticos. Trans-2-hexenal, aplicado como fumegante, foi capaz de penetrar na parte interna dos grãos e o a atividade antifúngica pode ser atribuída à sua volatilidade, porém não foi eficiente quanto a inibição da produção de fumonisina. A conclusão do estudo ressalta que o desenvolvimento de patógenos e produção de micotoxinas não são estritamente relacionados, e que mais estudos devem ser realizados para avaliar em nível molecular os mecanismos de ação dos metabolismos primário e secundário do patógeno.

CONCLUSÃO

Considerando a incidência de uma gama de micotoxinas em grãos e seus produtos alimentares derivados, torna-se importante a preocupação relacionada a prevenção ou redução destes contaminantes, principalmente relacionado a inibição da produção por espécies fúngicas toxigênicas. Nesse sentido torna-se evidente o crescente interesse e a potencialidade da aplicação de fitoquímicos desde o armazenamento das sementes até a comercialização, consolidando essa nova alternativa como eficiente e segura para a proteção de grãos sem a necessidade do emprego de produtos sintéticos e/ou pesticidas. O uso de métodos biológicos pode aliar o emprego de uma estratégia com baixa ou nenhuma geração de resíduos à prevenção da contaminação no cultivo das plantas ou pré-colheita e cuidados no

armazenamento dos grãos. Isto permite também a produção de um alimento atrativo ao consumidor com ausência de produtos tóxicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebo OA, Kayitesi E, Njobeh PB (2019). Reduction of mycotoxins during fermentation of whole grain sorghum to whole grain ting (a Southern African Food). *Toxins*, 11(1): 1-10.
- Angelo PM, Jorge N (2007). Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 66(1): 1-9.
- Anjorin TS, Salako EA, Makun HA (2013). *Control of toxigenic fungi and mycotoxins with phytochemicals: potentials and challenges*. Mycotoxin and food safety in developing countries, 181
- Awika JM, Rooney LD (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65(9): 1199-1221.
- Bayman P, Baker JL (2006). Ochratoxins: a global perspective. *Mycopathologia*, 162(3): 215-223.
- Belobrajdic DP, Bird AR (2013). The potential role of phytochemicals in wholegrain cereals for the prevention of type-2 diabetes. *Nutrition Journal*, 12(62): 1-12.
- Boukaew S, Petlamul W, Phitthayaphinant P, Prasertsan P (2019). Efficacy of vatica oil in controlling *Aspergillus parasiticus* in maize grain by direct contact and fumigation methods. *European Journal of Plant Pathology*, 154(4): 1135-1148.
- Brasil (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola*. Rio de Janeiro: IBGE. 95p.
- Bryła M, Ksieniewicz-Wóznik E, Yoshinari T, Wąskiewicz A, Szymczyk K (2019). Contamination of wheat cultivated in various regions of Poland during 2017 and 2018 agricultural seasons with selected trichothecenes and their modified forms. *Toxins*, 11(88): 1-16.
- Caceres I, El Khoury R, Bailly S, Oswald IP, Puel O, Bailly JD (2017). Piperine inhibits aflatoxin B1 production in *Aspergillus flavus* by modulating fungal oxidative stress response. *Fungal Genetics and Biology*, 107: 77-85.
- Christ-Ribeiro A, Kupski L, Badiale-Furlong E, Souza-Soares LA (2019). Cytotoxicity, antifungal and anti mycotoxins effects of phenolic compounds from fermented rice bran and *Spirulina* sp. *Process Biochemistry*, 80(1): 190-196.
- Dambolena JS, Zygodlo JA, Rubinstein HR (2011). Antifumonisin activity of natural phenolic compounds: a structure–property–activity relationship study. *International journal of food microbiology*, 145(1): 140-146.
- Degraeve S, Madege RR, Audenaert K, Kamala A, Ortiz J, Kimanya M, Tiisekwa B, De Meulenaer B, Haesaert G (2016). Impact of local pre-harvest management practices in maize on the occurrence

- of *Fusarium* species and associated mycotoxins in two agro-ecosystems in Tanzania. *Food Control*, 59: 225-233.
- Del Regno M, Adesso S, Popolo A, Quaroni A, Autore G, Severino L, Marzocco S (2015). Nivalenol induces oxidative stress and increases deoxynivalenol pro-oxidant effect in intestinal epithelial cells. *Toxicology and applied pharmacology*, 285(2): 118-127.
- Dong F, Qiu J, Xu J, Yu M, Wang S, Sun Y, Zhang G, Shi, J (2016). Effect of environmental factors on *Fusarium* population and associated trichothecenes in wheat grain grown in Jiangsu province, China. *International journal of food microbiology*, 230: 58-63.
- FAO (2020). *Crop prospects and quarterly global report food situation*. 3 ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, Roma, 48p.
- Ferruz E, Loran S, Herrera M, Gimenez I, Bervis N, Barcena C, Carraminana JJ, Juan T, Herrera A, Arino A (2016). Inhibition of *Fusarium* growth and mycotoxin production in culture medium and in maize kernels by natural phenolic acids. *Journal of food protection*, 79(10): 1753-1758.
- Fontaine K, Hymery N, Lacroix MN, Puel S, Puel O, Rigalma K, Gaydou V, Coton E, Mounier J (2015). Influence of intraspecific variability and abiotic factors on mycotoxin production in *Penicillium roqueforti*. *International journal of food microbiology*, 215: 187-193.
- Foronud NA, Eudes F (2009). Trichothecenes in cereal grains. *International journal of molecular sciences*, 10(1): 147-173.
- Fuchs E, Binder EM, Heidler D, Krska R (2002) Structural characterization of metabolites after the microbial degradation of type A trichothecenes by the bacterial strain BBSH 797. *Food Additives & Contaminants*, 19(4): 379-386.
- Golge O, Kabak B (2020). Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in cereals and cereal products from Turkey. *Food Control*, 110(1): 1-6.
- Han X, Xu W, Zhang J, Xu J, Li F (2018). Natural occurrence of beauvericin and enniatins in corn- and wheat-based samples harvested in 2017 collected from Shandong Province, China. *Toxins*, 11(9): 1-12.
- He J, Zhou T, Young JC, Boland GJ, Scott T (2010). Chemical and biological transformations for detoxification of trichothecene mycotoxins in human and animal food chains: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 67-76.
- Hermanns G, Pinto FT, Kitazawa SE, Noll IB (2006). Fungos e fumonisinas no período pré-colheita do milho. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(1): 7-10.
- Ibáñez-Vea M, Lizarraga E, González-Peñas E, Cerain AL (2012). Co-occurrence of type-A and type-B trichothecenes in barley from a northern region of Spain. *Food Control*, 25(1): 81-88.

- IGC (2019). *Production total grains*. International Grains Council Disponível em: <<https://www.igc.int/en/default.aspx>>. Acesso em: 10/08/2020.
- Jalili M, Jinap S, Noranizan A (2010). Effect of gamma radiation on reduction of mycotoxins in black pepper. *Food Control*, 21: 1388-1393.
- Jermnak U, Yoshinari T, Sugiyama Y, Tsuyuki R, Nagasawa H, Sakuda S (2012). Isolation of methyl syringate as a specific aflatoxin production inhibitor from the essential oil of *Betula alba* and aflatoxin production inhibitory activities of its related compounds. *International journal of food microbiology*, 153(3): 339-344.
- Jouany JP (2007). Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137: 342-362.
- Keriene I, Mankeviciene A, Blazyte J (2020). The effect of antifungal extracts on the contamination of grain with microfungi. *Food Science & Nutrition*, 8(3): 1375-1382.
- King AMY, Young G (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *Journal of the American Dietetic Association*, 99(2): 213-218.
- Kochiiieru Y, Mankevičienė A, Cesevičienė J, Semaškienė R, Dabkevičius Z, Janavičienė S (2020). The influence of harvesting time and meteorological conditions on the occurrence of *Fusarium* species and mycotoxin contamination of spring cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(1): 2999-3006.
- Krnjaja V, Mandić V, Stanković S, Obradović A, Vasić T, Lukić M, Bijelić Z (2019). Influence of plant density on toxigenic fungal and mycotoxin contamination of maize grains. *Crop Protection*, 116(1): 126-131.
- Liu RH (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3): 207-219.
- Liu YT, Chen YH, Uramaru N, Lin AH, Yang HT, Lü CK, Yao HT (2016). Soy isoflavones reduce acetaminophen-induced liver injury by inhibiting cytochrome P-450-mediated bioactivation and glutathione depletion and increasing urinary drug excretion in rats. *Journal of Functional Foods*, 26(1): 135-143.
- Lobo WV, Ramos RMM (2020). Agrotóxicos Chemistry and its impact on the environment. *Química Nova*, 1(1): 2-30.
- Lopez-Martinez LX, Oliart-Ros RM, Valerio-Alfaro G, Lee CH, Parkin KL, Garcia HS (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6): 1187-1192.
- Majeed S, Boevre M, Saeger S, Rauf W, Tawab A, Habib F, Rahman M, Iqbal M (2018). Multiple mycotoxins in rice: occurrence and health risk assessment in children and adults of Punjab, Pakistan. *Toxins*, 10(2): 1-30.

- Menniti AM, Gregori R, Neri F (2010). Activity of natural compounds on *Fusarium verticillioides* and fumonisin production in stored maize kernels. *International journal of food microbiology*, 136(3): 304-309.
- Marijani E, Wainaina JM, Charo-Karisa H, Nzayisenga L, Munguti J, Gnonlonfin GJB, Kigadye E, Okoth S (2017). Mycoflora and mycotoxins in finished fish feed and feed ingredients from smallholder farms in East Africa. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(2): 169-176.
- Marin S, Ramos AJ; Cano-Sancho G, Sanchis V (2013). Mycotoxins: occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60: 218-237.
- Medeiros FHVD, Martins SJ, Zucchi TD, Melo ISD, Batista LR, Machado JDC (2012). Biological control of mycotoxin-producing molds. *Ciência e Agrotecnologia*, 36(5): 483-497.
- Milanez TV, Valente-Soares LM, Baptista GG (2006). Occurrence of trichothecene mycotoxins in Brazilian corn-based food products. *Food Control*, 17(4): 293-298.
- Montilla EC, Hillebrand S, Antezana A, Winterhalter P (2011). Soluble and bound phenolic compounds in different bolivian purple corn (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13): 7068-7074.
- Ok HE, Kim DM, Kim D, Chung SH, Chung M-S, Park KH, Chun HS (2014). Mycobiota and natural occurrence of aflatoxin, deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone in rice freshly harvested in South Korea. *Food Control*, 37: 284-291.
- Pak A, González E, Felicio J, Pinto MM, Rossi MH, Simoni IC, Lopes MN (2006). Inhibitory activity of compounds isolated from *Polymnia sonchifolia* on aflatoxin production by *Aspergillus flavus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37(2): 199-203.
- Perczak A, Gwiazdowska D, Marchwińska K, Juś K, Gwiazdowski R, Waśkiewicz A (2019). Antifungal activity of selected essential oils against *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* and their secondary metabolites in wheat seeds. *Archives of microbiology*, 201(8): 1085-1097.
- Pestka J (2007). Deoxynivalenol: Toxicity, mechanisms and animal health risks. *Animal Feed Science and Technology*, 137: 283-298.
- Prodanov-Radulović JZ, Došen RĐ, Stojanov IM, Pušić IM, Živkov-Baloš MM, Ratajac RD (2013). Influence of mycotoxin zearalenone on the swine reproductive failure. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, 124: 121-129.
- Scaff RMC, Scussel VM (2004). Fumonisin B1 and B2 in corn-based products commercialized in the state of Santa Catarina-southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(6): 911-919.
- Schelstraete W, Devreese M, Croubels S (2020). Comparative toxicokinetics of *Fusarium* mycotoxins in pigs and humans. *Food and Chemical Toxicology*, 137(1): 1-14.

- Schlösser I, Prange A (2019). Effects of selected natural preservatives on the mycelial growth and ochratoxin A production of the food-related moulds *Aspergillus westerdijkiae* and *Penicillium verrucosum*. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 36(9): 1411-1418.
- Schöneberg T, Kibler K, Sulyok M, Musa T, Bucheli TD, Mascher F, Bertossa M, Voegelé RT, Vogelgsang S (2018). Can plant phenolic compounds reduce *Fusarium* growth and mycotoxin production in cereals? *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(12): 2455-2470.
- Schrödter R (2004). Influence of harvest and storage conditions on trichothecenes levels in various cereals. *Toxicology letters*, 153(1): 47-49.
- Seus-Arraché ER, Fontes MRV, Garda-Buffon J, Badiale-Furlong E (2018). Trichothecenes in wheat: methodology, occurrence and human exposure risk. *Journal of Cereal Science*, 82(1): 129-137.
- Silva B, Souza MM, Badiale-Furlong E (2020). Antioxidant and antifungal activity of phenolic compounds and their relation to aflatoxin B1 occurrence in soybeans (*Glycine max* L.). *Journal of the science of food and agriculture*, 100(3): 1256-1264.
- Silva B, Kupski L, Badiale-Furlong E (2019). Central composite design-desirability function approach for optimum ultrasound-assisted extraction of daidzein and genistein from soybean and their antimycotoxigenic potential. *Food Analytical Methods*, 12(1): 258-270.
- Sheng S, Li T, Liu R (2018). Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7(1): 185-195.
- Stadnik MJ, Talamini V (2004). Extratos vegetais e de algas no controle de doenças de plantas. In: Stadnik MJ, Talamini V. Manejo ecológico de doenças de plantas. Florianópolis: CCA/UFSC, 45-62.
- Sukcharoen O, Sirirote P, Thanaboripat D (2017). Control of aflatoxigenic strains by *Cinnamomum porrectum* essential oil. *Journal of food science and technology*, 54(9): 2929-2935.
- Sytar O, Bosko P, Živcák M, Brestic M, Smetanska I (2018). Bioactive phytochemicals and antioxidant properties of the grains and sprouts of colored wheat genotypes. *Molecules*, 23(1): 1-14.
- Tang Y, Tsao R (2017). Phytochemicals in quinoa and amaranth grains and their antioxidant, anti-inflammatory, and potential health beneficial effects: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(7): 1-16.
- Tanumihardjo SA, McCulley L, Roh R, Lopez-Ridaura S, Palacios-Rojas N, Gunaratna NS (2020). Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals. *Global Food Security*, 25(1): 1-9.
- Tarazona A, Gómez JV, Mateo F, Jiménez M, Romera D, Mateo EM (2020). Study on mycotoxin contamination of maize kernels in Spain. *Food Control*, 118: 107370.

- Telles AC, Kupski L, Furlong EB (2017). Phenolic compound in beans as protection against mycotoxins. *Food Chemistry*, 214: 293-299.
- Thiel PG, Marasas WF, Sydenham EW, Shephard GS, Gelderblom WC, Nieuwenhuis JJ (1991). Survey of fumonisin production by *Fusarium* species. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(4): 1089-1093.
- Tian J, Huang B, Luo X, Zeng H, Ban X, He J, Wang Y (2012). The control of *Aspergillus flavus* with *Cinnamomum jensenianum* Hand.-Mazz essential oil and its potential use as a food preservative. *Food Chemistry*, 130(3): 520-527.
- Tian F, Chun HS (2017). Natural products for preventing and controlling aflatoxin contamination of food. LUKMAN, BA Aflatoxin-Control, Analysis, Detection and Health Risks. *Rijeka: InTech*, 13-44.
- Tralamazza SM, Bemvenuti RH, Zorzete P, Garcia FS, Corrêa B (2016). Fungal diversity and natural occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in freshly harvested wheat grains from Brazil. *Food chemistry*, 196:445-450.
- Verruck S, Prudencio ES, Silveira SM (2018). Compostos bioativos com capacidade antioxidante e antimicrobiana em frutas. *Revista CSBEA*, 4(1): 111-124.
- Villa P, Markaki P (2009). Aflatoxin B₁ and ochratoxin A in breakfast cereals from athens market: occurrence and risk assessment. *Food Control*, 20(1): 455-461.
- Wang W, Zhou J, Wang X, Zhang N, Sun X, Ma Z (2014). Isolation, identification and antioxidant activity of bound phenolic compounds present in rice bran. *Food chemistry*, 171(1): 40-49.
- Wang L, Jin J, Liu X, Wang Y, Liu Y, Zhao Y, Xing F (2018). Effect of cinnamaldehyde on morphological alterations of *Aspergillus ochraceus* and expression of key genes involved in ochratoxin A biosynthesis. *Toxins*, 10(9): 340.
- Wang L, Jiang N, Wang D, Wang M (2019). Effects of Essential Oil Citral on the Growth, Mycotoxin Biosynthesis and Transcriptomic Profile of *Alternaria alternata*. *Toxins*, 11(10): 553.
- WHO-IARC (1993). Evaluation of carcinogenic risks to humans (56:445 e 462)
- Xia R, Schaafsma AW, Wu F, Hooker DC (2020). Impact of the improvements in *Fusarium* head blight and agronomic management on economics of winter wheat. *World Mycotoxin Journal*, 13(3): 423-439.
- Yang C, Song G, Lim W (2020). Effects of mycotoxin-contaminated feed on farm animals. *Journal of Hazardous Materials*, 389(1): 1-10.
- Zinedine A, Soriano JM, Molto JC, Manes J (2007). Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: an oestrogenic mycotoxin. *Food and chemical toxicology*, 45(1): 1-18.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Anacardium occidentale, 20, 24, 34
antioxidants, 78, 85, 91, 94
armazenamento, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,
18, 19, 20, 21, 24, 25, 27, 29, 33, 40, 41, 42,
43, 44, 59, 62, 63, 64, 103, 104, 105, 106,
109, 112
Astrocaryum murumuru, 37, 44

B

bioactive compounds, 74, 78, 80, 81, 85, 86,
88, 90, 91, 96
biorrefinaria, 73

C

cabra, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
22
capsaicin, 80, 81, 83, 85, 86, 92, 94, 95, 97, 99,
100, 102
carotenoides, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 20,
21, 23, 24, 29, 34, 35, 70
condições de processamento, 24
contaminação, 59, 63, 64, 105, 106, 109, 111,
112
cor, 8, 10, 11, 16, 17, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28,
29, 32, 33, 34, 38, 39, 53, 55, 103
Cor, 13, 17
curimatã, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57

D

DCCR, 25, 26

E

empanado, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56
estabilidade, 6, 7, 15, 20, 21, 23, 24, 29
Eugenia stipitata, 37
extrato de caju, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 17, 18, 20,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33

F

farinha, 49, 50, 53, 55, 56, 70
fibras residuais, 7, 8, 23, 24
fitoquímicos, 69, 102, 103, 104, 108, 110, 111,
112
free radicals, 85, 86

G

grãos, 50, 59, 68, 102, 103, 104, 105, 106, 107,
109, 111, 112

I

incorporação, 7, 8, 14, 15, 17, 25, 69, 71, 72, 73
Instrumental analyzes, 90

M

metabólitos, 103, 110
micotoxinas, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108,
109, 110, 111, 112

N

novos produtos, 68, 69, 72, 73

P

parâmetros de qualidade, 37, 39, 40, 41, 43
pH, 10, 12, 13, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 35, 40, 41, 42, 51, 71, 75, 77, 79, 88,
105
phenolic, 73, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 96, 99,
101, 113, 114, 115, 116, 117, 118
Piper nigrum L., 58
pipericultores, 58
processamento, 6, 8, 12, 23, 24, 26, 27, 28, 29,
32, 34, 37, 46, 50, 58, 60, 62, 63, 67, 68, 69,
71, 73, 105

Q

qualidade microbiológica, 11, 16, 17, 59
queijo coalho, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 19,
20, 21

R

reaproveitamento, 69
Rhollinea Orthopetala, 37

S

Secagem, 45
sensorial, 11, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 47, 53,
54, 55, 56, 57, 68, 75

T

temperatura, 8, 9, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32,
33, 34, 39, 41, 46, 60, 70, 71, 105
triturado, 50, 51, 52, 53, 54

V

valor agregado, 68, 72
vida útil, 42, 43, 64



 Wesclen Vilar Nogueira

Graduado em Engenharia de Pesca pela UNIR. Mestre e doutorando em Engenharia e Ciência de Alimentos pela FURG.

ISBN 978-658831927-7



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br