

# REALIDADES E PERSPECTIVAS

## EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Wesclen  
Vilar | Org.  
Nogueira



2020

Wesclen Vilar Nogueira  
(Organizador)

**Realidades e Perspectivas  
em Ciência dos Alimentos**



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  
Revisão: Os autor(es), organizador(es) e a editora

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson 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

| <b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b><br>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG) |   |
|--|---|
| R288   | <p>Realidades e perspectivas em Ciência dos Alimentos [recurso eletrônico] / Organizador Wesclen Vilar Nogueira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2020. 103p.</p> <p>Formato: PDF<br/>           Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader<br/>           Modo de acesso: World Wide Web<br/>           Inclui bibliografia<br/>           ISBN 978-65-88319-03-1<br/>           DOI <a href="https://doi.org/10.46420/9786588319031">https://doi.org/10.46420/9786588319031</a></p> <p>1. Alimentos – Análise. 2. Micotoxinas. 3. Tecnologia de alimentos. I. Nogueira, Wesclen Vilar.</p> <p style="text-align: right;">CDD 664.07</p> |
| <b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>  |   |

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](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A área de Ciência e Tecnologia de Alimentos é multidisciplinar, envolvendo os aspectos bioquímicos, físicos, químicos, microbiológicos e tecnológicos, e também aqueles relacionados a gestão da qualidade, legislação, logística, marketing e nutrição. Neste primeiro volume do e-book Realidades e Perspectivas em Ciência dos Alimentos o foco está voltado para considerações relativas a diversos temas com a finalidade de divulgar e fomentar publicações, oferecendo apoio e subsídios teórico-metodológicos para os profissionais da área de Ciência dos Alimentos e áreas afins.

No Capítulo I é abordado os aspectos relacionados a contaminação pelo gênero *Fusarium* e a consequente produção de tricotecenos e fumonisinas em culturas de trigo e milho, bem como a possibilidade de mitigação da contaminação pela utilização de extratos naturais de microalgas.

No Capítulo II são descritas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em pescado, com foco em peixe. Além de determinar o risco de exposição a micotoxinas pelo consumo de pescado a população de países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes conforme classificação da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

No capítulo III são apresentadas as recentes pesquisas relacionadas a novas abordagens para obtenção de aditivos alimentares de fontes naturais possíveis de suprir a demanda mundial de novos ingredientes. Fornecendo uma compilação de pesquisas relevantes que auxiliam o leitor a identificar tendências para a indústria de alimentos ou novas áreas de pesquisa.

No capítulo IV são compiladas informações referentes à exploração de pescado no Brasil, consumo e ocorrência de mercúrio em pescado nacional. Além disso, foi realizado levantamento dos níveis de ocorrência de mercúrio no músculo de diferentes espécies de pescado exploradas no país e, fez-se uma estimativa do risco de exposição da população brasileira.

**Wesclen Vilar Nogueira**


## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| <b>Apresentação</b> .....  | 5   |
| <b>Capítulo I</b> .....  | 6   |
| Mitigação da contaminação fúngica e produção de micotoxinas em cultivos de trigo e milho pela aplicação de extratos de microalgas..... | 6   |
| <b>Capítulo II</b> .....   | 30  |
| Micotoxinas em pescado: ocorrência e risco de exposição.....   | 30  |
| <b>Capítulo III</b> .....  | 46  |
| Aditivos alimentares naturais emergentes: Uma revisão .....  | 46  |
| <b>Capítulo IV</b> .....   | 85  |
| Metal pesado em pescado: a presença do mercúrio como agente contaminante .....   | 85  |
| <b>Índice Remissivo</b> .....  | 103 |

# Mitigação da contaminação fúngica e produção de micotoxinas em cultivos de trigo e milho pela aplicação de extratos de microalgas

Recebido em: 10/07/2020

Aceito em: 16/07/2020

 10.46420/9786588319031cap1

Priscila Tessmer Scaglioni<sup>1\*</sup> 

Eliana Badiale Furlong<sup>2</sup> 

## INTRODUÇÃO

Os cereais utilizados como base alimentar em diversas regiões do mundo apresentam composição química e propriedades tecnológicas que os tornam suscetíveis ao ataque de fungos e insetos predadores, resultando em prejuízos para a agricultura. A contaminação dos alimentos por fungos representa um perigo à saúde pública, tendo em vista que esses micro-organismos, além de diminuir a disponibilidade de nutrientes, alteram as características sensoriais do grão e derivados e podem produzir substâncias tóxicas (Ferry et al., 2004).

Dentre as pragas que atacam os cereais, os gêneros fúngicos *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* se destacam, sendo que as espécies de *Fusarium* podem ser encontradas habitando o solo nas mais diversas regiões geográficas do mundo, e se destacam pela frequência de ocorrência. Especialmente em locais de climas tropicais e subtropicais, esse gênero fúngico é capaz de sobreviver por longos períodos no solo pela formação de estruturas chamadas clamidósporos. Os conídios que são disseminados pelo ar ou pela água também podem colonizar ramos, folhas, inflorescências e frutos e destruir importantes culturas, como milho, trigo, arroz e outros cereais (Stakheev et al., 2011).

Para combater a micota são utilizados defensivos agrícolas, os fungicidas, cuja aplicação previne o desenvolvimento fúngico, e no caso de espécies toxigênicas, a produção de micotoxinas em produtos agrícolas e alimentos processados. Entretanto, o uso intensivo dos diferentes tipos de fungicidas vem trazendo consequências para o homem e meio ambiente, pela seleção de espécies, por desencadear a

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

\*Autor de correspondência: priscilascaglioni@gmail.com.

produção de micotoxinas pelo efeito estressor, ou por sua presença residual em matrizes alimentares (Badiale-Furlong et al., 2020; Scaglioni et al., 2019a).

Os compostos antifúngicos de ocorrência natural surgem como alternativa promissora para inibição fúngica e manifestação do potencial toxigênico, uma vez que seus mecanismos de ação são mais específicos que os dos compostos sintéticos. Os compostos fenólicos, proteínas, óleos essenciais, entre outros podem atuar na inibição da produção de componentes da parede celular (glicosamina), da membrana celular (ergosterol) ou inibindo a ação de enzimas que auxiliam na obtenção de nutrientes, todas estas situações tornam o micro-organismo inviável (Badiale-Furlong et al., 2020; Pagnussatt et al., 2014; Scaglioni et al., 2019b; Souza et al., 2011). Outro fato importante é que a utilização de substâncias de origem vegetal e microbiana, para prevenir a contaminação, torna o alimento mais atrativo ao consumidor pela inocuidade, mesmo quando empregadas em concentrações relativamente elevadas. Além dos benefícios proporcionados à saúde, visto que os compostos fenólicos, alcaloides, terpenos e proteínas também podem resultar em atividade funcional (Heidtmann-Bemvenuti et al., 2016; Souza et al., 2011).

Uma alternativa interessante para a aplicação de soluções menos danosas aos seres vivos e ao ambiente vem da biotecnologia marinha, tendo em vista que diversos estudos demonstraram a ação antifúngica de compostos extraídos de microalgas contra culturas de *Aspergillus flavus* e *Fusarium graminearum* (Souza et al., 2011; Pagnussatt et al., 2014, 2016; Scaglioni et al., 2019a, 2019b), atividade antioxidante (Maadane et al., 2015; Scaglioni et al., 2018a); e antimicotoxinas (Pagnussatt et al., 2014; Scaglioni et al., 2019a). Neste capítulo o objetivo é revisar os aspectos mais importantes relacionados a contaminação pelo gênero *Fusarium* e a conseqüente produção de tricotecenos e fumonisinas em culturas de trigo e milho, bem como a possibilidade de mitigação da contaminação pela utilização de extratos naturais de microalgas.

## CONTAMINAÇÃO FÚNGICA EM CEREAIS

Os grãos são ricos em componentes nutricionais que se localizam principalmente no endosperma. No entanto nas paredes externas, que são constituídas basicamente por celulose, hemicelulose e lignina, é onde se encontra grande parte da comunidade microbiana contaminante, inclusive as espécies patogênicas. Esta microbiota se instala em diferentes etapas da evolução biológica do grão, ou seja, do campo ao armazenamento (Olkku et al., 2005) e tende a se alterar conforme a disponibilidade de nutrientes e condições ambientais.

Os principais componentes da microbiota dos grãos são os fungos, que ocorrem em diversas condições bióticas e abióticas e que para obter nutrientes utilizam enzimas exocelulares que degradam o grão e diminuem as suas qualidades nutricionais e tecnológicas. A perda causada pela micota não se



refere apenas aos danos na qualidade e quantidade de grãos, mas também na produção de metabólitos tóxicos: as micotoxinas, quando ocorre a presença de espécies toxigênicas (Blandino et al., 2012; Scaglioni et al., 2018a, 2018b).

Os principais fungos relacionados à qualidade da semente são os pertencentes aos gêneros *Fusarium*, *Penicillium* e *Aspergillus*. Embora há muitos séculos a toxicidade de certos fungos seja conhecida, somente por volta de 1850 foi considerada a relação entre a ingestão de centeio infectado pelo fungo *Claviceps purpurea* com características clínicas do ergotismo. A partir de então passou-se a estudar o risco a saúde humana e animal associada a ingestão de metabólitos tóxicos produzidos por fungos. Posteriormente, foram identificadas outras micotoxicoses que afetavam os seres humanos, tais como a síndrome relacionada ao consumo de pão contaminado por *F. graminearum*, a chamada estaquibotriotoxicose humana, e a aleucia tóxica alimentar (ATA), ocasionadas pelo consumo de cereais de inverno infectados por *Fusarium poae* e *Fusarium sporotrichioides* (Doyle, 1997).

No início do século XIX, uma doença associada ao consumo de arroz foi relatada no Japão. Em 1944 no Marrocos, foram registrados numerosos casos de câncer hepático em porcos alimentados com farelos de torta de amendoim. A suspeita recaiu sobre as tortas que poderiam veicular toxinas cancerígenas. A demonstração de propriedades hepatotóxicas e hepatocarcinogênicas de algumas linhagens de *A. flavus* e *A. parasiticus*, no início da década de 1960, seguida pela elucidação da estrutura de seus metabólitos tóxicos, as aflatoxinas, deu novo enfoque e prioridade para a pesquisa sobre micotoxinas. O que motivou o aprofundamento dos estudos que levaram a identificação das aflatoxinas foi a mortalidade devastadora de perus em granjas na Inglaterra, que ingeriram aflatoxinas por meio de torta de amendoim de origem brasileira contaminada com *A. parasiticus* (Allcroft; Carnaghan, 1962). A partir daí ficou consolidado o estudo e o estabelecimento de estratégias para mitigar os problemas na saúde humana e animal decorrentes da exposição a estes contaminantes.

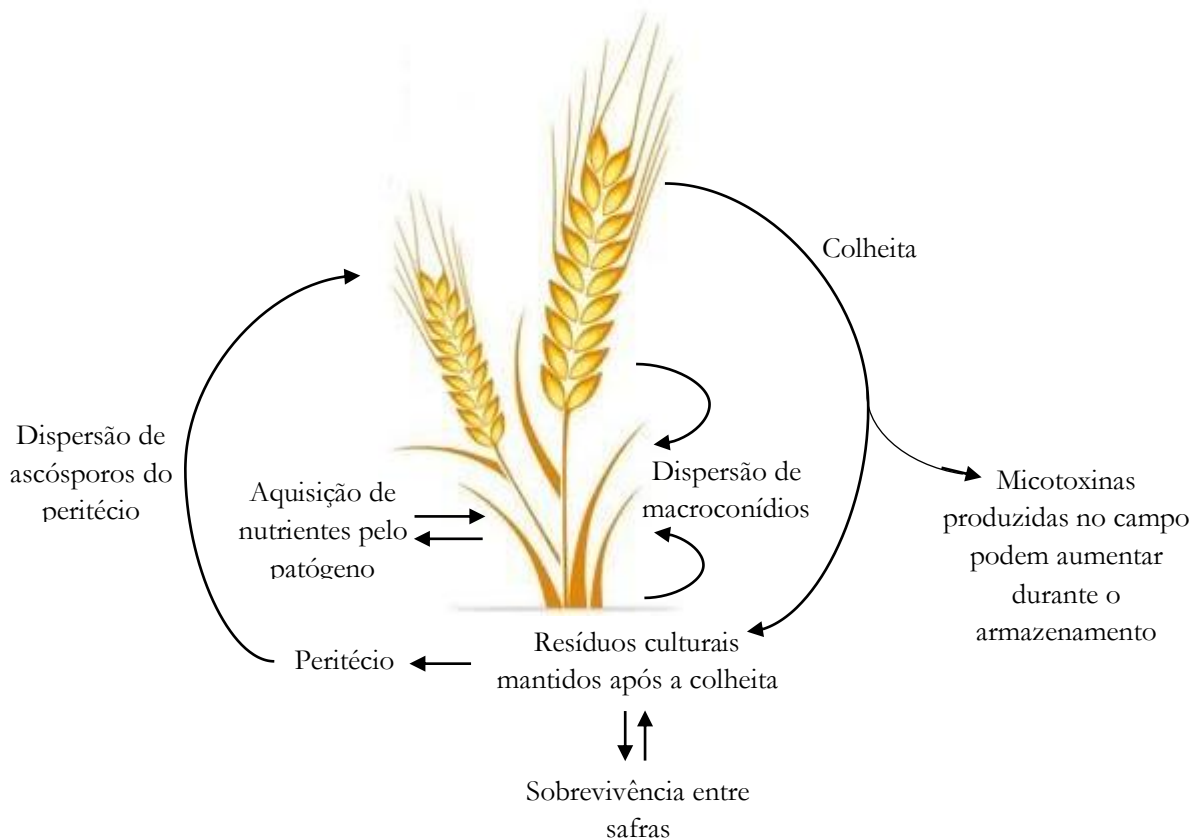
## TRIGO

O trigo é um cereal fasciculado pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *Triticum*, possuindo diversas espécies (Posner, 2000), foi o primeiro produto agrícola a ser cultivado e utilizado no processamento de alimentos. A qualidade do grão de trigo pode ser definida como resultado da interação que a cultura sofre no campo, envolvendo as condições de solo, do clima, da incidência de pragas e moléstias, manejo da cultura, da cultivar, bem como das operações de colheita e secagem, armazenamento, moagem e do uso industrial a ser dado à farinha (Hoseney, 1991).

Fungos do gênero *Fusarium* ao contaminar grãos de trigo produzem enzimas exocelulares que alteram a sua composição, aumentando em geral, o nível de carboidratos solúveis em água, assim como a quantidade de ácidos graxos livres. Além disso, a contaminação fúngica aumenta a degradação de

amido devido à presença de enzimas como a  $\alpha$ -amilase. O crescimento de micélio de *F. graminearum* impede o transporte de nutrientes para o endosperma em desenvolvimento e reduz significativamente a produtividade, resultando na diminuição do número e na redução da massa total de grãos (McMullen et al., 1997).

Vários estudos demonstraram que a principal espécie fúngica encontrada em trigo é o *F. graminearum*, que produz maiores quantidades da micotoxina desoxinivalenol (DON) (Blandino et al., 2012; Pagnussatt et al., 2014; Scarpino et al., 2015). Como forma de atenuar ou até mesmo eliminar esse tipo de contaminação, busca-se a utilização de defensivos agrícolas que ajam diretamente no contaminante e preservem as características originais da planta. Contudo, considerando o transporte de inóculo entre as diferentes partes na planta (Figura 1) muitas vezes o manejo de resíduos na propriedade pode não ser suficiente para o controle efetivo da incidência fúngica.



**Figura 1.** Ciclo da doença causada por *Fusarium graminearum* no trigo. Fonte: Adaptado de Astolfi (2010).

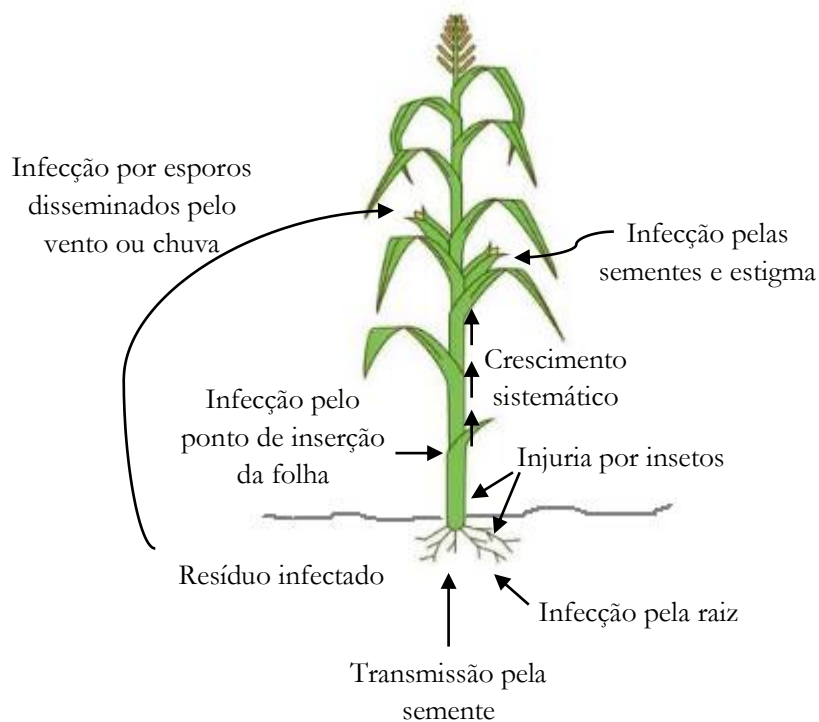
Além da aplicação de defensivos, também se buscam alternativas na forma de cultivo dos cereais. O preparo do solo, denominado aração, revolve a terra com o objetivo de descompactá-la e viabilizar o melhor desenvolvimento das raízes da planta. Esta técnica reduz mais de 90% a quantidade de resíduos de colheitas anteriores, tanto na superfície quanto nos primeiros 10 cm do solo. Isto se torna interessante tendo em vista que estudos demonstram a existência de uma correlação positiva entre

a contaminação por DON e a quantidade total de resíduos de culturas anteriores no solo (Maiorano et al., 2008). O cultivo mínimo, situado entre o sistema de cultivo convencional e o sistema de plantio direto, consiste em um preparo mínimo do solo com a finalidade de menor revolvimento e compactação, favorecendo a manutenção das características do solo e protegendo-o de possíveis erosões. No entanto, a biomassa microbiana aumenta na superfície e nos primeiros 10 cm do solo, além dos resíduos presentes manterem a água na superfície do solo, favorecendo a liberação dos esporos de *Fusarium* spp. (Champeil et al., 2004).

## MILHO

O milho é uma monocotiledônea de distribuição mundial pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*), tribo *Maydeae*, gênero *Zea*, cientificamente denominado de *Zea mays* L., este por sua vez se subdivide em cinco grupos, denominados de amiláceo, dentado, duro, pipoca e doce (Fancelli, 1983). Classificado entre os cereais de extrema importância na alimentação humana e animal, apresenta alta eficiência na produção de alimentos com qualidade nutricional, justificando a sua introdução como ingrediente nos mais diversos produtos derivados (Massarolo et al., 2019).

O ciclo de incidência por *Fusarium* é complexo, associado com todas as fases do desenvolvimento da planta. A fusariose parece iniciar com a permanência de fungo nos resíduos de colheitas anteriores, capazes de prolongar a sobrevivência de hifas e contaminar as sementes, seguida de disseminação sistêmica ao colmo e espiga. Outro mecanismo de contaminação decorre do desenvolvimento de esporos durante a germinação, seguida de disseminação total. Também a contaminação pode ser decorrente da disseminação de macro e microconídios pelo ar ou chuva, atingindo diretamente o tecido vegetal, principalmente no estigma. A transmissão por insetos integra o fator vetor com injúria à planta, estabelecendo local adequado para a instalação/germinação de conídios disseminados pelo ar ou chuva (Figura 2) (Reyneri, 2006).



**Figura 2.** Ciclo da fusariose em milho com diferentes vias de infecção. Fonte: Adaptado de Munkvold e Desjardins (1997).

O desenvolvimento da planta de milho é dividido em estádios vegetativos e reprodutivos. O florescimento é o primeiro estágio reprodutivo da planta, o estresse ambiental neste período causa falhas na polinização e na formação do grão, o que resultará em espigas defeituosas, principalmente com a ponta chocha. Após o florescimento e o início da maturação dos grãos há combinação de redução na fotossíntese e desbalanço na distribuição de açúcares em favor dos grãos. Estes acontecimentos, associados a estresses pós-florescimento, podem favorecer o desenvolvimento de fungos que causam as podridões no colmo (Ritchie et al., 1993).

As propriedades intrínsecas do milho associam-se a fatores biológicos de ataques fitopatogênicos e/ou de deterioração, com destaque especial a fungos micotoxigênicos. Além de espécies dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* e *Trichoderma*, as mais frequentes e alvo de atenção na microbiota do milho são *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. proliferatum*, *F. oxysporum* e *F. subglutinans* (Blandino et al., 2008; Nishimwe et al., 2017; Oliveira et al., 2017). O uso de fungicidas nem sempre é rentável para a cultura do milho, pois depende do potencial de rendimento dos grãos, da suscetibilidade às doenças do híbrido em estudo e da severidade da doença foliar durante todo o período de crescimento, além dos preços do milho no mercado e da aplicação do fungicida (Blandino et al., 2012).

## COMPLEXO DO GÊNERO *FUSARIUM*

Fungos patogênicos sempre tiveram sua importância relacionada aos danos causados à produtividade de commodities agrícolas e às doenças em animais. Dentre os gêneros de fungos que mais afetam a produção agrícola e a saúde animal, destaca-se o gênero *Fusarium*, fungo cosmopolita capaz de produzir diversos metabólitos secundários tóxicos em cereais, que posteriormente são encontrados frequentemente em rações e alimentos. Entre os metabólitos produzidos por *Fusarium* destaca-se, além de zearalenona e fumonisinas, a classe de tricotecenos que são compostos sintetizados por *F. graminearum*, responsáveis por micotoxicoses que acometem humanos e animais numa escala global (Bryden, 2007).

O complexo *F. graminearum* é composto por distintas linhagens/espécies filogenéticas, a morfologia por si só não é capaz de distinguir estas diferentes espécies, sendo necessária a utilização de ferramentas de diagnóstico molecular (Konietzny; Greiner, 2003). Este complexo possui diversas linhagens e espécies, tais como: *F. graminearum*, *F. asiaticum*, *F. meridionale*, *F. cortaderiae*, *F. austroamericanu* (Aoki et al., 2012).

No campo, a infecção por *Fusarium* recebe o nome de giberela, sendo uma doença extremamente dependente das condições ambientais, principalmente chuvas prolongadas e alta umidade do ar por ocasião da floração e o desenvolvimento dos grãos na espiga. No início da infecção, o fungo cresce intercelularmente sem sintomas aparentes (Jansen et al., 2005). A partir do ponto de infecção, o fungo cresce radialmente, necrosando o tecido colonizado e expressando o sintoma típico da doença, a descoloração das espiguetas infectadas.

Por se tratar de um ascomiceto, geralmente é encontrado na fase haplóide durante grande parte do ciclo, persistindo e se multiplicando como saprófito em resíduos das culturas de cereais e palhada de milho. Desta forma, é capaz de produzir esporos assexuais (macroconídios), que são disseminados pela ação da chuva e do vento. Sob condições ótimas de umidade e molhamento, inicia-se a fase sexual caracterizada pela formação de hifas dicarióticas (binucleadas) capazes de formar corpos de frutificação conhecidos como peritécios. Estes dão origem às ascas, que abrigam e liberam os esporos sexuais do fungo, os ascósporos, que são carregados pela ação do vento através da turbulência atmosférica e podem alcançar longas distâncias da fonte de origem (McMullen et al., 1997).

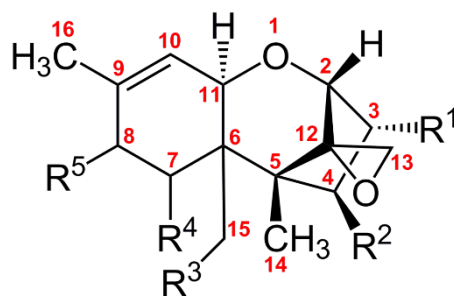
O desenvolvimento sexual é parte crítica para o estabelecimento da doença (Trail, 2009). No campo, os ascósporos são considerados o inóculo primário da doença, que devido ao curto período de vulnerabilidade à infecção, é considerada monocíclica. As fontes de inóculo local e regional em abundância nos resíduos vegetais devido à adoção de práticas conservacionistas e a falta de resistência nas cultivares comerciais são fatores que incrementam o risco da doença (Del Ponte et al., 2004). Após a infecção, o fungo possui a capacidade de expressar genes ligados a síntese de toxinas, principalmente

aqueles envolvidos na biossíntese de DON, um fator de virulência que causa necrose nos tecidos adjacentes a infecção e permite a evolução do fungo pela raquis, colonizando as espiguetas vizinhas (Desjardins et al., 1993).

## TRICOTECENOS

A principal classe de micotoxinas produzidas por *F. graminearum* é representada por tricotecenos, metabólitos secundários que atuam como potentes inibidores da síntese proteica em eucariotos, resultando em sérias toxicoses em humanos e animais, estas micotoxinas possuem uma estrutura básica sesquiterpenoide e podem ser divididos em classes do tipo A, B, C e D, dependendo da presença ou ausência de grupos funcionais característicos. Os principais tricotecenos sintetizados por *F. graminearum* pertencem ao tipo B, que contém um ceto-grupo na posição C8 do anel sesquiterpenoide (Snijders, 1990). Dentre estes, destacam-se as toxinas DON, que pode ainda possuir um derivado acetil-éster na posição 15 do oxigênio (15-ADON) e um na posição 3 do oxigênio (3-ADON), e Nivalenol (NIV), um derivado oxigenado C-4 de DON (Figura 3 e Tabela 1).

A produção de tricotecenos e zearalenona é provavelmente a consequência mais negativa associada à contaminação de trigo por *Fusarium*. São muito conhecidos os efeitos deletérios de *F. graminearum* nos grãos de trigo, destacando o efeito de DON no refinamento da farinha, onde sua presença está associada à redução da proporção de gluteninas resultando na perda da qualidade de panificação (Dalcerro et al., 1997). A legislação brasileira estipula limites máximos toleráveis para a presença de DON em alimentos como trilha e milho em grãos para posterior processamento ( $3000 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), trigo integral e para quibe, farelo de trigo, farelo de arroz e grão de cevada ( $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), farinha de trigo, massas, crackers, biscoitos de água e sal, e produtos de panificação, cereais e produtos de cereais exceto trigo e incluindo cevada malteada, arroz beneficiado e derivados ( $750 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), e alimentos à base de cereais para alimentação infantil – lactentes e crianças de primeira infância ( $200 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) (Brasil, 2017).



**Figura 3.** Substituintes da estrutura química dos principais tricotecenos. Fonte: Adaptador de Shima et al. (1997).

**Tabela 1.** Substituintes da estrutura química dos principais tricotecenos. Fonte: Adaptador de Shima et al. (1997).

| Grupo | Toxina                        | R1   | R2   | R3   | R4   | R5        |
|-------|-------------------------------|------|------|------|------|-----------|
| B     | Desoxinivalenol (DON)         | - OH | -H   | - OH | - OH | = O       |
|       | 3-O-acetil DON (3-ADON)       | -Oac | -H   | - OH | - OH | = O       |
|       | 15-O-acetil DON (15-ADON)     | - OH | -H   | -OAc | - OH | = O       |
|       | Nivalenol (NIV)               | - OH | - OH | - OH | - OH | = O       |
| A     | Toxina T-2                    | - OH | -OAc | -OAc | -H   | - OIsoval |
|       | Toxina HT-2                   | - OH | - OH | -OAc | -H   | - OIsoval |
|       | Diacetoxiscirpenol (4,15-DAS) | - OH | -OAc | -OAc | -H   | -H        |

Além disso, DON e NIV podem ocorrer concomitantemente em algumas regiões de produção de cereais, com valores acima dos aceitáveis. Quanto às implicações toxicológicas, as espécies animais como suínos e aves apresentaram comprovada sensibilidade aos tricotecenos. Em humanos também há evidências de danos ocasionados por eles. A contaminação com estas toxinas promove sintomas que diferem entre as espécies animais afetadas, entre os níveis de contaminação e as vias de exposição (Bryden, 2007; Juan-García et al., 2020; Snijders, 1990).

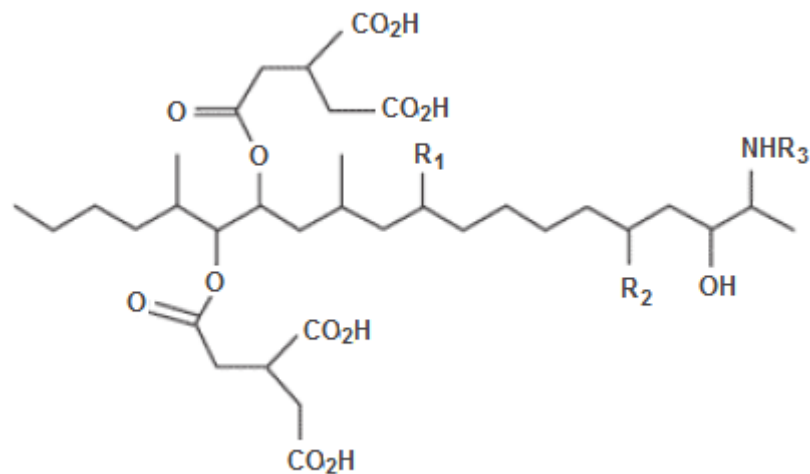
Em experimentos com baixa dosagem de tricotecenos foi possível reproduzir sintomas característicos de toxicoses em animais que ingeriram grãos contaminados. Foram observados imunossupressão, anemia, hemorragia e recusa alimentar em suínos e aves (Wu, 2007). Além disso, estudos de nutrição animal sugeriram que os tricotecenos possuem caráter teratogênico, mas não carcinogênico (Bottalico, 1998). O DON é também conhecido como vomitoxina, responsável por

sintomas como recusa alimentar, diarreia, vômito, hemorragia e dermatite de contato em animais. Em humanos, o decréscimo na taxa de leucócitos, náusea, vômito, anorexia e convulsões estão relacionados a contaminações por *F. graminearum* (Bryden, 2007).

## FUMONISINAS

As espécies produtoras de fumonisinas incluem *F. anthophilum*, *F. dlamini*, *F. napiforme*, *F. nygami*, *F. moniforme* e *F. proliferatum*. As duas últimas são produtoras de grandes quantidades de fumonisinas, sendo o *F. moniforme* a primeira espécie associada com essas micotoxinas (Diaz; Boermans, 1994) e, pela sua frequência de ocorrência, é a espécie mais estudada dentre as produtoras (Blandino et al., 2012). Como no caso dos demais fungos toxigênicos os fatores ambientais no campo, durante o transporte e armazenamento afetam a multiplicação e a produção de um ou mais tipos de fumonisinas (Gamanya; Sibanda, 2001).

Dezoito diferentes tipos de fumonisinas já foram isolados e identificados diferindo quanto aos grupos hidroxil (Figura 4 e Tabela 2), porém a forma molecular predominante e mais tóxica produzida pelo *F. moniforme* é a fumonisina B<sub>1</sub> (FB<sub>1</sub>) (Seo; Lee, 1999).



**Figura 4.** Estrutura química das principais fumonisinas. Fonte: Adaptado de Minami et al. (2004).



**Tabela 2.** Estrutura química das principais fumonisinas. Fonte: Adaptado de Minami et al. (2004).

| Fumonisina     | R <sub>1</sub> | R <sub>2</sub> | R <sub>3</sub>     |
|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| B <sub>1</sub> | OH             | OH             | H                  |
| B <sub>2</sub> | H              | OH             | H                  |
| B <sub>3</sub> | OH             | H              | H                  |
| B <sub>4</sub> | H              | H              | H                  |
| A <sub>1</sub> | OH             | OH             | CH <sub>2</sub> CO |
| A <sub>2</sub> | H              | OH             | CH <sub>2</sub> CO |

A estrutura química da FB<sub>1</sub>, um diester de ácido tricarbálico e álcool polihídrico, é a mais tóxica micotoxina dentre as demais, que não apresentam estruturas cíclicas ou anéis de difícil metabolização e excreção pelo organismo contaminado. Todas as fumonisinas são estáveis ao calor, como muitas outras micotoxinas, mas quanto à polaridade são solúveis em água e acetonitrila e insolúveis em solventes orgânicos (Alberts et al. 1990). A legislação brasileira estipula os limites máximos toleráveis para a presença de fumonisina B<sub>1</sub> + B<sub>2</sub> em alimentos como milho em grão para posterior processamento (5000 µg kg<sup>-1</sup>), milho de pipoca (2000 µg kg<sup>-1</sup>), farinha de milho, creme de milho, fubá, flocos, canjica e canjiquinha (1500 µg kg<sup>-1</sup>), amido de milho e produtos à base de milho (1000 µg kg<sup>-1</sup>), e alimentos à base de milho para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância) (200 µg kg<sup>-1</sup>) (Brasil, 2017).

A ocorrência de fumonisinas em alimentos tem sido relacionada a doenças em animais e possível relação com doenças em humanos, como o câncer de esôfago em regiões onde há grande consumo de milho e derivados, como a África do Sul e China (Li et al., 2015). Em ratos contaminados foram observados casos de câncer hepático (Cetin; Bullerman, 2005). Em equinos a FB<sub>1</sub> é responsável pela ocorrência de leucoencefalomalácia (LEM), uma síndrome que atinge o sistema nervoso central de cavalos e leva à liquefação da substância branca do cérebro (Kim et al., 2003). Em suínos a ingestão de FB<sub>1</sub> pode causar edema pulmonar e hidrotórax (Dilkin et al., 2003). Além disso, estudos têm demonstrado que a exposição à FB<sub>1</sub> resulta em nefrotoxicidade e hepatotoxicidade em todas as espécies animais estudadas (ratos, camundongos, coelhos, equinos, suínos e macacos), aliadas à hipercolesterolemia em determinadas espécies (suínos e macacos) (Abdellatef; Khalil, 2016).

A absorção das fumonisinas no tubo digestivo é rara, são rapidamente eliminadas e retidas, principalmente no fígado e nos rins (FAO/WHO, 2001). O modo de ação destas micotoxinas está relacionado com a sua interferência no metabolismo da esfingosina – esfinganina, prejudicando assim o metabolismo dos esfingolípídeos, responsáveis pela regulação celular e controle de proteínas

membranares, regulando o crescimento, diferenciação e morte das células (Heidtmann-Bemvenuti et al., 2011).

## MICROALGAS

As microalgas compõem um grupo heterogêneo de organismos unicelulares e microscópicos, que apresentam clorofila e outros pigmentos utilizados na fotossíntese (Olaizola, 2003). Acredita-se que tenham surgido há mais de 3 milhões de anos e formaram a atual biosfera, e desde então a regulam no planeta retirando CO<sub>2</sub> e produzindo O<sub>2</sub> (Borges et al., 2007). Seu cultivo pode ser uma alternativa para minimizar o aumento do efeito estufa, seja pela captação do CO<sub>2</sub> atmosférico durante seu crescimento ou pela possível produção de biocombustíveis renováveis (Chisti, 2007). Podem ser cultivadas em ambientes inadequados para outros seres vivos, tais como lagos salinos adjacentes a desertos. Elas possuem bom potencial de aproveitamento como fonte de alimento e diversos compostos químicos de interesse (Maadane et al., 2015).

Estes micro-organismos têm papel vital na ecologia do planeta e são a base da cadeia alimentar aquática. Além disso, podem ser utilizadas nas indústrias farmacêutica e alimentar, como fonte suplementar de ácidos graxos, proteínas, carboidratos, pigmentos e vitaminas. Na aquicultura são utilizadas para a manutenção da qualidade da água e como fonte alimentar complementar. As microalgas são também empregadas há algum tempo no tratamento de efluentes domésticos e industriais (Scaglioni; Badiale-Furlong, 2017; Vaz et al., 2016) o que as torna promissoras como fonte de compostos antimicrobianos.

### *Nannochloropsis* sp.

Microalgas do gênero *Nannochloropsis* são amplamente distribuídas nos oceanos e apresentam elevado potencial de absorver CO<sub>2</sub> que resultam na sua alta produtividade e conteúdo lipídico (Borges et al., 2007). Elas também se destacam por serem produtoras de um importante ácido graxo poliinsaturado essencial, o ácido eicopentanóico (EPA) (Lourenço, 2006).

Esta microalga predominantemente planctônica pertence à divisão *Ochromophyta*, da classe *Eustigmatophyceae*, que compreende oito gêneros e quinze espécies, todas unicelulares cocoides ou coloniais, com distribuição na água doce, no solo úmido e no mar. A espécie possui células esféricas ou ovóides com diâmetro médio de 2 a 4 µm e não são flageladas. A sua parede celular é rígida e composta de polissacarídeos; a estrutura química do seu produto de reserva não é conhecida, mas sabe-se que não se trata do amido. Somente a reprodução assexuada já foi constatada nessa classe e não são conhecidos efeitos nocivos das espécies da classe *Eustigmatophyceae* na natureza. Por sua facilidade de cultivo, tamanho pequeno, velocidade de crescimento e alto teor de ácidos graxos poliinsaturados essas

microalgas são bastante utilizadas na aquicultura, como alimentos para rotíferos e para criar efeito verde em tanques de larvas (Zittelli et al., 2004).

Segundo a literatura, a composição típica de microalgas do gênero *Nannochloropsis*, em relação ao peso seco de biomassa, apresenta 7,8 – 15,1% de carboidratos; 21,3 – 35,0% de proteínas e 16,2 – 39,1% de lipídios (Campos et al., 2010; Lourenço, 2006; Scaglioni et al., 2018a). A composição química da *N. oculata* relatada na literatura indica a presença de 0,90 e 0,30  $\mu\text{g mL}^{-1}$  de clorofila  $\alpha$  e carotenoides, respectivamente. Baixas taxas de crescimento da espécie são atribuídas ao excesso de nutrientes no meio de cultivo. Quanto a especificação dos aminoácidos constituintes, o mais abundante é o ácido glutâmico (14,9%), seguido do ácido aspártico (11,7%) e da leucina (8,4%) (Campos et al., 2010).

Custódio et al. (2012) avaliaram a atividade antioxidante de diferentes microalgas, onde o conteúdo de fenóis totais presente em extrato metanólico da microalga *N. oculata* apresentou concentração igual a 4,1  $\text{mg g}^{-1}$ , expresso em teor de ácido gálico na biomassa seca. Os autores verificaram a inibição do radical livre DPPH utilizando extratos em metanol e hexano, em diferentes concentrações, chegando aos seguintes percentuais de inibição: 12,2; 35,2 e 59,4% para os extratos em metanol nas concentrações de 1; 5 e 10  $\text{mg mL}^{-1}$ , respectivamente; e 5,2; 12,2 e 70,3% para os extratos em hexano nas concentrações de 1; 5 e 10  $\text{mg mL}^{-1}$ , respectivamente. Estes resultados indicaram que os compostos antioxidantes da microalga apresentam polaridades diferentes. Nos extratos polares (metanol), a atividade antioxidante pode ser devido à presença de compostos fenólicos, de acordo com o que já foi observado por Hajimahmoodi et al. (2010). No entanto, nos extratos não-polares (hexano), a inibição detectada não pode ser atribuída à presença de compostos fenólicos, o que difere grandemente de outras espécies de plantas, como frutas, vegetais e plantas medicinais (Li et al., 2007).

A caracterização da biomassa de *Nannochloropsis* sp. quanto a composição de diferentes ácidos graxos, visando definir o potencial funcional como fonte de ácidos graxos essenciais, apresentou 3%, 87% e 11% de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, respectivamente. O composto majoritário foi o ácido eláidico (62%). Comparativamente a outros gêneros de microalgas, a proporção de ácidos graxos quanto a presença de insaturações mostrou que a *Nannochloropsis* sp. apresenta concentração promissora de poliinsaturados (Scaglioni et al., 2017).

Estudo que avaliou a atividade antioxidante e a capacidade de inibição enzimática do extrato fenólico de *Nannochloropsis* sp., verificou uma concentração total de fenóis igual a 641  $\mu\text{g g}^{-1}$ , a identificação dos ácidos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência acoplada ao detector ultravioleta (HPLC-UV) e confirmação por cromatografia líquida acoplada ao espectrômetro de massa sequencial (LC-MS/MS) mostrou a presença de ácido gálico, protocatecóico, clorogênico, hidroxibenzóico, siríngico, vanilina e ferúlico. A inibição dos radicais ABTS e DPPH foi na ordem de 1,3%  $\text{min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$  e 0,01 %  $\text{min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ , respectivamente, e inibição da atividade da peroxidase e  $\alpha$ -amilase

de  $0,4\% \text{ min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$  e  $0,01 \text{ \% min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ , respectivamente. Demonstrando que o extrato fenólico da microalga pode ser aplicado na indústria de alimentos como protetor natural contra processos hidrolíticos e oxidativos endógenos e exógenos (Scaglioni et al., 2018a).

### *Spirulina* sp.

O gênero bacteriano *Spirulina* pertence à família *Cyanobacterium*, filamentosa, formada por células dispostas ao longo de um filamento em espiral com até 1,0 mm de comprimento. Assim como as plantas verdes superiores, seu metabolismo principal é a fotossíntese, onde a fonte de energia é a luz solar. Estas bactérias são descendentes dos primeiros seres fotossintetizantes e apresentam os maiores índices de produção de biomassa dentre as espécies do planeta. Quando comparadas aos vegetais superiores e aos animais, como fonte de produtos e nutrientes para a qualidade de vida do homem, estes levam grande vantagem devido à rapidez com que se reproduzem e facilidade de cultivo em zonas não apropriadas para a agricultura (Ambrosi et al., 2008; Vaz et al., 2016).

O componente em maior concentração na biomassa da *Spirulina* é a proteína, variando entre 51 e 74%. As proteínas que possuem maior potencial econômico são as biliproteínas, sendo que a *Spirulina* possui duas biliproteínas: c-ficocianina e aloficocianina, a fração proteica pode conter mais de 20% de ficocianina, um pigmento azul solúvel em água. Lipídios e carboidratos variam entre 6 a 13% e 12 a 20%, respectivamente (Scaglioni et al., 2018a). A composição de pigmentos da *Spirulina* é típica de uma cianobactéria, a única clorofila presente é a clorofila  $\alpha$ , que tem seu peso variando entre 0,8 e 1,5% do peso seco. É considerada excelente fonte de pró-vitamina A ( $\beta$ -caroteno) e de ferro biodisponível, além de outros minerais, compostos fenólicos, ficocianina, ácido  $\gamma$ -linoleico e outros ácidos graxos essenciais (Belay, 2002; Sala et al., 2018).

A presença destes compostos na *Spirulina* norteou a sua utilização como alimento pelo homem, tendo em vista sua elevada qualidade e quantidade proteica, aminoácidos essenciais, minerais, ácidos graxos poliinsaturados e vitaminas. Além de possuir grande quantidade de compostos fenólicos (ácidos caféico, clorogênico, salicílico, sináptico e trans-cinâmico), tocoferol e pigmentos como carotenoides, ficocianina e clorofila (Ambrosi et al., 2008).

Ela é considerada um micro-organismo GRAS (“Generally Recognized as Safe”), que não apresenta toxicidade e, portanto, permitida como suplemento alimentar pela “Food and Drug Administration” (FDA). Também está sendo utilizada no desenvolvimento de alimentos funcionais por apresentar efeitos de promoção à saúde, como diminuição da hiperlipidemia, diminuição da pressão arterial, proteção a danos renais, promoção do crescimento de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* na microbiota intestinal, diminuição dos níveis séricos de glicose, aumento da fertilidade e da resposta anti-mutagênica e anti-tumoral (Belay, 2002; Parisi et al., 2009).

A ingestão de *Spirulina* tem mostrado efeito preventivo contra os danos na formação óssea e no estresse oxidativo induzido. Além disso, tem sido demonstrado seus efeitos protetores contra o estresse oxidativo induzido pelo acetato de chumbo no fígado e rins de ratos. A alimentação à base de *Spirulina platensis* também reduz a hepatotoxicidade induzida pelo cádmio em ratos e o efeito é sugerido para ser mediado por suas propriedades antioxidantes. *Spirulina* também é conhecida por ter efeitos protetores contra a nefrotoxicidade devido ao dano oxidativo induzido por gentamicina (Karadeniz et al., 2009).

A caracterização da biomassa de *Spirulina* sp. quanto a composição de diferentes ácidos graxos, realizada através de extração dos lipídeos a frio, derivatização dos ácidos graxos empregando o reagente BF<sub>3</sub> sob refluxo, e identificação e quantificação por cromatografia a gás com detector por ionização de chama (GC-FID), mostrou que a biomassa de *Spirulina* sp. continha 31%, 63% e 6% de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados, respectivamente. Sendo que o composto majoritário encontrado foi o palmitoléico (41%) (Scaglioni et al., 2017).

Quanto a composição de ácidos fenólicos na biomassa de *Spirulina* sp., sabe-se que estão presentes quatro diferentes ácidos, sendo eles: ácido gálico, protocatecóico, clorogênico e hidroxibenzóico, totalizando 628 µg g<sup>-1</sup>. O estudo de diferentes procedimentos para estimar a concentração mínima para o efeito protetor, estabilidade e versatilidade da bioatividade do extrato, mostrou que o mesmo é um potente inibidor da atividade da α-amilase, com inibição específica igual a 0,07% min<sup>-1</sup> µg<sup>-1</sup> (Scaglioni et al., 2018a).

## FUNGICIDAS E ANTIFÚNGICOS NATURAIS

Os agentes fungistáticos (que inibem a multiplicação de fungos) e os fungicidas (eliminam os fungos) se diferenciam na magnitude da taxa de mortalidade, ou seja, na velocidade de destruição dos micro-organismos. Agentes antifúngicos de baixa toxicidade podem ser utilizados no controle do crescimento fúngico e formação de micotoxinas, são eles os ácidos orgânicos (acetatos, propionatos, sorbatos e benzoatos para alimentos), antibióticos (natamicina para queijo), ervas, especiarias, óleos essenciais, antioxidantes e metilxantinas (Badiale-Furlong et al., 2020). Pesquisas têm buscado compostos com atividade antioxidante provenientes de fontes naturais, que possam atuar isoladas ou sinergicamente com outros aditivos, pois funcionam como alternativa para prevenir a deterioração oxidativa de alimentos e limitam o uso dos antioxidantes sintéticos e agentes conservadores.

Shanab et al. (2012) avaliaram a atividade antioxidante e anticâncer de extratos aquosos de nove espécies de microalgas (*Anabaena flous-aquae*, *Anabaena oryzae*, *Nostoc humifusum*, *Nostoc muscorum*, *Oscillatoria* sp., *S. platensis*, *Phormidium fragile*, *Wolleea saccata* e *Chlorella vulgaris*). A atividade antioxidante dos extratos de algas foi determinada pelos métodos de inibição do DPPH e ABTS, resultando em 30,1-72,4% e 32,0-75,9% de inibição, respectivamente.

Farvin e Jacobsen (2013) avaliaram os compostos fenólicos e a atividade antioxidante de 16 espécies de algas coletadas ao longo das costas dinamarquesas e estudaram a inibição da peroxidação lipídica em sistema de modelo lipossomal. Em geral, os ensaios antioxidantes correlacionaram-se com o conteúdo fenólico total, o que indicou que os polifenóis são componentes ativos nesses extratos. No entanto, em alguns dos ensaios antioxidantes algumas espécies com baixo conteúdo fenólico total também apresentaram bons efeitos antioxidantes, indicando que alguns outros compostos ativos foram co-extraídos, tais como pigmentos e tocoferóis em extratos etanólicos e polissacarídeos sulfatados. As proteínas ou os peptídeos solúveis em extratos aquosos também podem contribuir para as propriedades antioxidantes, porém esclarecimentos são necessários.

Além da atividade antioxidante, alguns destes compostos podem atuar como antifúngicos e inibidores da produção de micotoxinas, tais como a aflatoxina, por atuarem na regulação da peroxidação lipídica, inibindo a formação de peróxidos e consequente estresse oxidativo que está relacionado a biossíntese de aflatoxinas (Rasooli; Abyaneh, 2004; Souza et al., 2011).

O emprego de microalgas como fonte natural de antifúngicos vem sendo estudado por alguns autores, tais como: Tantawy (2011), que estudou o potencial de inibição das cianobactérias *Nostoc muscorum*, *S. platensis* e *Anabaena flos-aquae* contra os fungos *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*, ficando demonstrada a eficiência dos extratos das algas em inibir o crescimento do diâmetro micelial de fungos. Os melhores resultados foram obtidos com *S. platensis*, que apresentou até 51% de inibição do diâmetro do halo de *F. Oxysporum*.

Souza (2012) avaliou o poder de inibição de extratos fenólicos de *Chlorella* sp. e *S. platensis* sobre a multiplicação fúngica de *Rhizopus oryzae* e *A. flavus*, bem como sua atividade antioxidante e a atividade antimicotoxinas, da última, contra *A. flavus*. O extrato fenólico de *S. platensis* apresentou maior capacidade de inibir a formação da parede e da membrana celular, com inibição média de 50% para ambos os fungos estudados e inibição total da produção de aflatoxina B<sub>1</sub> até o 10º dia cultivo do *A. flavus*. Estes resultados mostraram que as ações antifúngica e antimicotoxina estão naturalmente presentes em alguns tecidos microbianos e que encontrar a forma de extraí-los e aplicá-los como conservantes de alimentos pode ser uma alternativa para a substituição dos antifúngicos e outros conservantes químicos.

Pagnussatt et al. (2016) estudaram a atividade antifúngica de compostos fenólicos extraídos de *Spirulina* sp. LEB-18 na forma livre e encapsulada contra espécies filogenéticas do complexo *F. graminearum* isoladas de cereais produzidos no Rio Grande do Sul. Os resultados mostraram inibição superior a 90% no crescimento de isolados do complexo *F. graminearum* em presença de lipossomas contendo 8% de extrato fenólico (v/v). A produção de glicosamina foi reduzida de 11,5 mg g<sup>-1</sup> para 6,1 mg g<sup>-1</sup> no meio com lipossoma puro e o extrato fenólico incorporado ao lipossoma, respectivamente,

aumentando em 15 e 6 vezes a inibição da produção das micotoxinas NIV e 15-ADON. Ficou demonstrado que a técnica de encapsulamento garantiu a manutenção das propriedades dos compostos bioativos com atividade antifúngica e antimicotoxigênica superior ao extrato fenólico livre.

Christ-Ribeiro et al. (2016) aplicaram compostos fenólicos extraídos de *Spirulina* LEB-18 como conservantes na formulação de massas de pizza, os extratos foram borrifados nas pizzas na concentração de 1,2 mg g<sup>-1</sup> e mostraram efeito promissor frente ao conservante químico propionato quanto a contagem de bolores e leveduras até 10 dias após a formulação das massas de pizza.

Scaglioni et al. (2019b) avaliaram os extratos fenólicos (livres, conjugados e ligados) e os carotenoides das microalgas *Nannochloropsis* sp. e *Spirulina* sp. quanto ao seu potencial para mitigar a contaminação por patógenos fúngicos do complexo *Fusarium* em experimentos *in vitro*. Os extratos fenólicos livres de ambas as microalgas foram os mais eficientes, promovendo as menores taxas de crescimento micelial, iguais a 0,51 cm dia<sup>-1</sup> (*Spirulina* sp.) e 0,78 cm dia<sup>-1</sup> (*Nannochloropsis* sp.). Valores de concentração efetiva máxima (EC<sub>50</sub>) iguais a 49,6 µg mL<sup>-1</sup> e 33,9 µg mL<sup>-1</sup> foram determinados para os extratos de *Nannochloropsis* e *Spirulina*, respectivamente. O estudo concluiu que o uso de extratos fenólicos representa uma nova perspectiva em relação à aplicação de compostos produzidos pela biotecnologia marinha para prevenir a contaminação por espécies do gênero *Fusarium*.

Os extratos fenólicos das microalgas *Spirulina* sp. e *Nannochloropsis* sp. foram aplicados em campos experimentais de milho pela primeira vez, em estudo desenvolvido por Scaglioni et al. (2018b), que também aplicaram fungicidas comerciais para avaliar a capacidade destes de minimizar o desenvolvimento de espécies de *Fusarium* e a produção de fumonisina. O ensaio *in vitro* contra *F. verticillioides* foi realizado utilizando grãos de milho como meio de cultura, e o experimento em campo aberto foi realizado no noroeste da Itália sob condições naturais de infecção. Os compostos fenólicos das microalgas foram capazes de inibir a produção de fumonisina *in vitro* com mais eficiência do que o tebuconazol. No campo, a aplicação de inseticida reduziu a infecção por espécies de *Fusarium* e subsequente contaminação por fumonisina. No entanto, a contaminação por fumonisinas não foi significativamente controlada nos campos de milho pela aplicação de fungicida ou extratos das microalgas. Este estudo destaca as dificuldades na aplicação de uma estratégia direta para controlar o desenvolvimento fúngico na produção de milho, diferente da produção de outras culturas, como o trigo.

Neste sentido, outro estudo avaliou a capacidade dos extratos fenólicos das microalgas de inibir a produção de tricotecenos pelo gênero *Fusarium* e, assim, identificar parâmetros que possam promover uma nova tecnologia para evitar a contaminação das culturas por micotoxinas. O experimento *in vitro* envolveu a adição do extrato fenólico de cada microalga (*Spirulina* sp. e *Nannochloropsis* sp.) na concentração de 40 µg mL<sup>-1</sup> a placas de Petri contendo meio de cultura e grãos de trigo previamente esterilizados, com posterior inoculação de um isolado pertencente ao complexo *F. graminearum*. Também

foram realizados o experimento controle, com água estéril, e o tratamento com o fungicida tebuconazol ( $0,6 \text{ mg mL}^{-1}$ ). As placas de Petri foram incubadas a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , com um fotoperíodo claro/escuro de 12 a 12 h. Após 168 h, procedeu-se a extração pelo método QuEChERS adaptado; e os tricotecenos (NIV, DON e acetilatos) foram identificados e quantificados por HPLC-UV. Quando os extratos fenólicos das microalgas foram aplicados, o pico característico do NIV não foi detectado, sugerindo inibição total, enquanto o conteúdo de NIV aumentou (15%) na presença de tebuconazol. Ambos os extratos fenólicos de microalgas também tiveram um efeito promissor na inibição do DON, sem detecção (*Nannochloropsis* sp.) e redução de 62% (*Spirulina* sp.). A aplicação do fungicida tebuconazol aumentou a concentração de DON. Os extratos fenólicos de microalgas e o tebuconazol diminuíram a detecção dos derivados acetilatos de DON. Ficou demonstrado que os extratos fenólicos das microalgas foram mais eficientes que o tebuconazol como agentes antifúngicos e antimicotoxigênicos em culturas *in vitro* (Scaglioni et al., 2019a).

Por fim, os extratos fenólicos das microalgas foram testados em campos experimentais de trigo, em comparação com fungicidas sintéticos, a fim de avaliar a capacidade de controlar o desenvolvimento de *F. graminearum* e a conseqüente produção de DON. A aplicação do fungicida prothioconazol, e da combinação de prothioconazol com tebuconazol resultou no controle da fusariose e de doenças foliares nas plantas, levando a um significativo aumento de rendimento dos grãos (13%) e redução na concentração de DON (46%) comparativamente ao tratamento controle. A aplicação dos extratos fenólicos das microalgas apresentou destaque na redução da severidade da fusariose (35% para *Spirulina* e 39% para *Nannochloropsis*), entretanto, os extratos naturais não reduziram significativamente as doenças foliares, nem apresentaram efeito quanto ao rendimento dos grãos. Além disso, também não ocorreu redução na concentração de DON em comparação ao tratamento controle, desta forma, a aplicação dos extratos fenólicos das microalgas em campos de cereais como uma alternativa aos fungicidas convencionais ainda requer estudos que maximizem a manutenção destes compostos, bem como a sua eficiência, em condições reais de plantio (variações de temperatura, chuvas, ventos, exposição solar, dentro outros) (Scaglioni et al., 2019c).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação de culturas de cereais, como trigo e milho, por fungos do gênero *Fusarium* é recorrente e prejudicial para o produtor e para o consumidor, bem como para o agronegócio em geral, além disso, a possibilidade de produção de micotoxinas, como o grupo dos tricotecenos e as fumonisinas, aumenta esta preocupação, tendo em vista que os danos à saúde são incalculavelmente maiores, e que também podem ocasionar problemas com a exportação destes commodities agrícolas. Conforme apresentado ao longo desta revisão, muitos estudos presentes na literatura sugerem a



eficiência da aplicação de compostos extraídos de microalgas com o intuito de reduzir a contaminação fúngica ou produção de micotoxinas em cereais. Entretanto, ainda existem muitos estudos necessários para tornar esta aplicação viável em grande escala, tendo em vista que aspectos, como o custo de produção dos extratos e estabilidade dos compostos frente às diferentes condições climáticas, ainda são desafios a serem vencidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdellatef AA, Khalil AA (2016). Ameliorated effects of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* DSM 20076 and *Pediococcus acidilactici* NNRL B-5627 on Fumonisin B<sub>1</sub> induced Hepatotoxicity and Nephrotoxicity in rats. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 11(2): 326-336.
- Alberts JF, Gelderblom WCA, Thiel PG, Marasas WFO, Van Schalkwyk DJ, Behrend Y (1990). Effects of temperature and incubation period on production of fumonisin B<sub>1</sub> by *Fusarium moniliforme*. *Applied and Environmental Microbiology*, 56: 1729-1733.
- Allcroft R, Carnaghan RBA (1962). Groundnut toxicity *Aspergillus flavus* toxin (aflatoxin) in animal products. Preliminary Communication. *Journal of Veterinary Research*, 74: 863-864.
- Ambrosi MA, Reinehr CO, Bertolin TE, Costa JAV, Colla LM (2008). Propriedades de saúde de *Spirulina* spp. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, 29(2): 109-117.
- Aoki T, Ward TJ, Kistler HC, O'donnell K (2012). Systematics, phylogeny and trichothecene mycotoxin potential of *Fusarium* head blight cereal pathogens. *Mycotoxins*, 62(2): 91-102.
- Astolfi P (2010). *Diversidade genética e potencial toxigênico de populações de Fusarium graminearum associadas ao trigo no sul do Brasil*. 98f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia com Ênfase em Fipotapologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Badiale-Furlong E, Badiale-Furlong V, Kupski L, Scaglioni PT, Souza TD, Christ-Ribeiro A. (2020). Use of natural resources from Southern Brazil as a strategy to mitigate fungal contamination. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-8.
- Belay A (2002). The potential application of *Spirulina* (*Arthrospira*) as a nutritional and therapeutic supplement in health management. *Journal American Nutraceutical Association*, 5(2): 27-48.
- Blandino M, Haidukowski M, Pascale M, Plizzari L, Scudellari D, Reyneri A (2012). Integrated strategies for the control of *Fusarium* head blight and deoxinivalenol contamination in winter wheat. *Field Crops Research*, 133: 139-149.
- Blandino M, Reyneri A, Vanara F, Pascale M, Haidukowski M, Saporiti M (2008). Effect of sowing date and insecticide application against European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on fumonisin contamination in maize kernels. *Crop Protection*, 27: 1432-1436.

- Borges L, Faria BM, Odebrecht C, Abreu PC (2007). Potencial de absorção de carbono por espécies de microalgas usadas na aquicultura: primeiros passos para o desenvolvimento de um “Mecanismo de desenvolvimento limpo”. *Atlântica*, 29: 35-46.
- Bottalico A (1998). Fusarium diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles. *Europe Journal of Plant Pathology*, 80(2): 85-103.
- Brasil (2017). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 138, de 08 de fevereiro de 2017. *Altera a RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011, que dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos, para alterar os LMT da micotoxina deoxinivalenol (DON) em trigo e produtos de trigo prontos para oferta ao consumidor e os prazos para sua aplicação*. Diário Oficial da União, Brasília, 09 de fevereiro de 2017.
- Bryden WL (2007). Mycotoxins in the food chain: human health implications. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16(1): 95-101.
- Campos VB, Barbarino E, Lourenço SO (2010). Crescimento e composição química de dez espécies de microalgas marinhas em cultivos estanques. *Ciência Rural*, 40(2): 339-347.
- Cetin Y, Bullerman LB (2005). Cytotoxicity of Fusarium mycotoxins to mammalian cell cultures as determined by the MTT bioassay. *Food and Chemical Toxicology*, 43: 755-764.
- Champeil A, Dore T, Fourbet JF (2004). Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant Science*, 166: 1389-1415.
- Chisti Y (2007). Biodiesel from microalgae. *Biomass*, 25: 294-306.
- Christ-Ribeiro A, Bretanha CC, Giacobbo G, De Souza MM, Badiale-Furlong E (2016). Compostos fenólicos extraídos de fontes naturais aplicados como conservadores em massas de pizza. *Revista de Ciência e Inovação*, 1(1).
- Custódio L, Justo T, Silvestre L, Barradas A, Duarte CV, Pereira H, Barreira L, Rauter AP, Alberício F, Varela J (2012). Microalgae of different phyla display antioxidant, metal chelating and acetylcholinesterase inhibitory activities. *Food Control*, 131: 134-140.
- Dalcerro A, Torres A, Etcheverry M, Chulze S, Varsavsky E (1997). Occurrence of deoxynivalenol and *Fusarium graminearum* in Argentina wheat. *Food Additives and Contaminants*, 14(1): 11-14.
- Del Ponte EM, Fernandes JMC, Pierobom CR, Bergstrom GC (2004). Giberela do Trigo - Aspectos Epidemiológicos e Modelos de Previsão. *Fitopatologia Brasileira*, 29(6): 587-605.
- Desjardins A, Hohn TM, McCormick SP (1993). Trichothecene biosynthesis in Fusarium species: chemistry, genetics, and significance. *Microbiological Reviews*, 57(3): 595-604.
- Diaz GJ, Boermans HJ (1994). Fumonisin toxicoses em domestic animals: a review. *Veterinary and Human Toxicology*, 36(6): 548-555.

- Dilkin P, Zorzete P, Mallmann CA, Gomes JD, Utiyama CE, Oetting LL, Correa B (2003). Toxicological effects of chronic low doses of aflatoxin B<sub>1</sub> and fumonisin B<sub>1</sub>-containing *Fusarium moniliforme* culture material in weaned piglets. *Food Chemistry and Toxicology*, (41): 1345-1353.
- Doyle ME (1997). *Fusarium mycotoxins*. Food Research Institute. University of Wisconsin: Madison.
- Fancelli AL (1983). Tecnologia da produção. In: Fancelli AL, Lima UA. *Milho: produção, processamento e transformação industrial*. São Paulo: Secretaria da Indústria e Comércio, Ciência e Tecnologia, 1-68.
- FAO/WHO (2001). Food and Agriculture Organization/World Health Organization. *Fifty-sixth meeting*, Geneva, Summary and conclusions.
- Farvin KHS, Jacobsen C (2013). Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish coast. *Food Chemistry*, 138: 1670-1681.
- Ferry N, Edwards MG, Gatehouse JA, Gatehouse AMR (2004). Plant insect interactions: molecular approaches to insect resistance. *Current Opinion and Biotechnology*, 15: 155-161.
- Gamanya R, Sibanda L (2001). Survey of *Fusarium moniliforme* (*F. verticillioides*) and production of fumonisin B<sub>1</sub> in cereal grains and oilseeds in Zimbabwe. *International Journal of Food Microbiology*, 71: 145-149.
- Hajimahmoodi M, Ali MA, Mohammadi N, Soltani N, Oveisi MR, Nafissi-Varcheh N (2010). Evaluation of antioxidant properties and total phenolic contents of some strains of microalgae. *Journal of Applied Phycology*, 22: 43-50.
- Heidtmann-Bemvenuti R, Mendes GL, Scaglioni PT, Badiale-Furlong E, Souza Soares L (2011). Biochemistry and metabolism of mycotoxins: A review. *African Journal of Food Science*, 5(16): 861-869.
- Heidtmann-Bemvenuti R, Tralamazza SM, Ferreira CFJ, Corrêa B, Badiale-Furlong E (2016). Effect of natural compounds on *Fusarium graminearum* complex. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 96(12): 3998-4008.
- Hoseney RC (1991). *Princípio de ciencia e tecnologia de los cereales*. Acribia: Zaragoza. 332p.
- Jansen C, Wettstein DV, Schäfer W, Kogel KH, Felk A, Maier FJ (2005). Infection patterns in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46): 16892-16897.
- Juan-García A, Bind MA, Engert F (2020). Larval zebrafish as na *in vitro* model for evaluating toxicological effects of mycotoxins. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 202: 110909.
- Karadeniz A, Cemek M, Simsek N (2009). The effects of Panax ginseng and *Spirulina platensis* on hepatotoxicity induced by cadmium in rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 231-235.
- Kim EK, Scott PM, Lau BPY (2003). Hidden fumonisin in corn-flakes. *Food Additives and Contaminants*, 20: 161-169.

- Konietzny U, Greiner R (2003). The application of PCR in the detection of mycotoxigenic fungi in foods. *Brazilian Journal of Microbiology*, 34(4): 283-300.
- Li HB, Cheng KW, Wong CC, Fan KW, Chen F, Jiang Y (2007). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fractions of selected microalgae. *Food Chemistry*, 102: 771-776.
- Li R, Tao B, Pang M, Liu Y, Dong J (2015). Natural occurrence of fumonisins B<sub>1</sub> and B<sub>2</sub> in maize from three main maize-producing provinces in China. *Food Control*, 50: 838-842.
- Lourenço SO (2006). *Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações*. RiMa: Brasil. 606p.
- Maadane A, Merghoub N, Ainane T, Arroussi H, Benhima R, Amzazi S, Bakri Y, Wahby I (2015). Antioxidant activity of some Moroccan marine microalgae: Pufa profiles, carotenoids and phenolic content. *Journal of Biotechnology*, 215: 13-19.
- Maiorano A, Blandino M, Reyneri A, Vanara F (2008). Effects of maize residues on the *Fusarium* spp. infection and deoxynivalonol (DON) contamination of wheat grain. *Crop Protection*, 27: 182-188.
- Massarolo KC, Ferreira CFJ, De Borba VS, Kupski L, Furlong EB (2019). Particle size and physical-chemical characteristics of hydrothermally treated cornmeal on resistant starch content. *Food Chemistry*, 283: 39-45.
- Mcmullen M, Jones R, Gallenberg D (1997). Scab of wheat and barley: are emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*, 81(12): 1340-1348.
- Minami L, Meireles PG, Hirooka EY, Ono EYS (2004). Fumonisinas: efeitos toxicológicos, mecanismo de ação e biomarcadores para avaliação da exposição. *Semina Ciências Agrárias*, 25:207-24.
- Munkvold GP, Desjardins AE (1997). Fumonisins in maize. Can we reduce their occurrence? *Plant Disease*, 81(6): 556-565.
- Nishimwe K, Wanjuki I, Karangwa C, Darnell R, Harvey J (2017). An initial characterization of aflatoxin B<sub>1</sub> contamination of maize sold in the principal retail markets of Kigali, Rwanda. *Food Control*, 73(B): 574-580.
- Olaizola M (2003). Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomolecular Engineering*, 20: 459-466.
- Oliveira MS, Rocha A, Sulyok M, Krska R, Mallmann CA (2017). Natural mycotoxin contamination of maize (*Zea mays* L.) in the South region of Brazil. *Food Control*, 73(B) 127-132.
- Olkku J, Salmenkallio-Marttila M, Sweins H, Home S (2005). Connection between structure and quality of barley husk. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 63(1): 17-22.
- Pagnussatt FA, De Lima VR, Dora CL, Costa JAV, Putaux JL, Badiale-Furlong E (2016). Assessment of the encapsulation effect of phenolic compounds from *Spirulina* sp. LEB-18 on their antifusarium activities. *Food Chemistry*, 211: 616-623.


- Pagnussatt FA, Del Ponte EM, Garda-Bufferon J, Badiale-Furlong E (2014). Inhibition of *Fusarium graminearum* growth and mycotoxin production by phenolic extract from *Spirulina* sp. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 108: 21-26.
- Parisi AS, Younes S, Reinehr CO, Colla LM (2009). Assessment of the antibacterial activity of microalgae *Spirulina platensis*. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, 30(3): 2997-301.
- Posner ES (2000). Wheat. In: Kulp K, Ponte JG *Handbook of cereal science and technology*. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 1-29.
- Rasooli I, Abyaneh MR (2004). Inhibitory effects of Thyme oils on growth and aflatoxin production by *Aspergillus parasiticus*. *Food Control*, 15(6): 479-483.
- Reyneri A (2006). The Role of Climatic Condition on Micotoxin Production in Cereal. *Veterinary Research Communications*, 30: 87-92.
- Ritchie SW, Hanway JJ, Benson GO (1993). *How a Corn Plant Develops*, Special Report nº 48, Iowa State, University of Science and Technology, Ames, Iowa.
- Sala L, Ores JC, Moraes CC, Kalil SJ (2018). Simultaneous production of phycobiliproteins and carbonic anhydrase by *Spirulina platensis* LEB-52. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 96: 1896-1902.
- Scaglioni PT, Badiale-Furlong E (2017). Can microalgae act as source of preservatives in food chain? *Journal of Food Science and Engineering*, 7: 283-296.
- Scaglioni PT, Blandino M, Scarpino V, Giordano D, Testa G, Badiale-Furlong E (2018b). Application of fungicides and microalgal phenolic extracts for the direct control of fumonisin contamination in maize. *Food Agricultural and Food Chemistry*, 66: 4835-4841.
- Scaglioni PT, Garcia SO, Badiale-Furlong E (2019a). Inhibition of *in vitro* trichothecenes production by microalgae phenolic extracts. *Food Research International*, 124: 175-180.
- Scaglioni PT, Massarolo KC, Badiale-Furlong E (2017). Microalgas *Nannochloropsis* sp. e *Spirulina* sp. e seu potencial como fonte de ácidos graxos essenciais. *Vetor*, 27(1): 75-85.
- Scaglioni PT, Pagnussatt FA, Lemos AC, Nicolli CP, Del-Ponte EM, Badiale-Furlong E (2019b). *Nannochloropsis* sp. and *Spirulina* sp. as a source of antifungal compounds to mitigate contamination by *Fusarium graminearum* species complex. *Current Microbiology*, 79: 930-938.
- Scaglioni PT, Quadros L, De Paula M, Furlong VB, Abreu PC, Badiale-Furlong E (2018a). Inhibition of enzymatic and oxidative processes by phenolic extracts from *Spirulina* sp. and *Nannochloropsis* sp. *Food Technology & Biotechnology*, 56(3): 344-353.
- Scaglioni PT, Scarpino V, Marinaccio F, Vanara F, Badiale-Furlong E, Blandino M (2019c). Impact of microalgal phenolic extracts on the control of *Fusarium graminearum* and deoxynivalenol contamination in wheat. *World Mycotoxin Journal*, 12(4): 367-376.

- Scarpino V, Reyneri A, Sulyok M, Krska R, Blandino M (2015). Effect of fungicide application to control Fusarium head blight and Fusarium and Alternaria mycotoxins in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *World Mycotoxin Journal*, 8(4): 499-510.
- Seo JA, Lee YW (1999). Natural occurrence of the C series of fumonisin in mouldy corn. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(3): 1331-1334.
- Shanab SMM, Mostafa SSM, Shalaby EA, Mahmoud GI (2012). Aqueous extracts of microalgae exhibit antioxidant and anticancer activities. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(8): 608-615.
- Shima J, Takase S, Takahashi Y, Iwai Y, Fujimoto H, Yamazaki M, Ochi K (1997). Novel detoxification of the trichothecene mycotoxin deoxynivalenol by a soil bacterium isolated by enrichment culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(10): 3825-3830.
- Snijders CHA (1990). Fusarium head blight and mycotoxin contamination of wheat, a review. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 96(4): 187-198.
- Souza MM (2012). Potencial antifúngico e antioxidante dos extratos fenólicos de *Chlorella* sp. e *Spirulina platensis* e a capacidade desta de inibir a síntese de aflatoxinas. 164f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- Souza MM, Prieto L, Ribeiro AC, Souza TD, Badiale-Furlong E (2011). Assesment of the antifungal activity of *Spirulina platensis* phenolic extract against *Aspergillus flavus*. *Ciência e Agrotecnologia*, 35: 1050-1058.
- Stakheev AA, Ryazantsev D, Gagkaeva T, Zavriev SK (2011). PCR detection of Fusarium fungi with similar profiles of the produced mycotoxins. *Food Control*, 22: 462-468.
- Tantawy STA (2011). Biological potential of cyanobacteria metabolites against some soil pathogenic fungi. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9(1): 663-666.
- Trail F (2009). For Blighted Waves of Grain: *Fusarium graminearum* in the postgenomics era. *Plant Physiology*, 149: 103-110.
- Vaz BS, Moreira JB, Morais MG, Costa JAV (2016). Microalgae as a new source of bioactive compounds in food supplements. *Current Opinion in Food Science*, 7: 73-77.
- Wu F (2007). Measuring the economic impacts of Fusarium toxins in animal feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3): 363-374.
- Zittelli GC, Rodolfi L, Tredici MR (2004). Industrial production of microalgal cell mass and secondary products – species of high potential. Mass cultivation of *Nannochloropsis* in closed systems. In: Richmond A *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford: Blackwell Publishing, 298-303.


# Micotoxinas em pescado: ocorrência e risco de exposição

Recebido em: 13/07/2020

Aceito em: 16/07/2020

 10.46420/9786588319031cap2

Wesclen Vilar Nogueira<sup>1\*</sup> 

Jaqueline Garda Buffon<sup>2</sup> 

## INTRODUÇÃO

Conforme definição do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, entende-se por pescado os peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos e outros animais aquáticos usados na alimentação humana (Brasil, 2017). Estatísticas recentes da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, mostram que a produção mundial de pescado em 2019 atingiu 172,6 milhões de toneladas (t), sendo os peixes as espécies mais produzidas, representando 66,6% (FAO, 2019). Deste total, 89% foram destinadas para consumo humano (e.g. congelado, fresco, enlatado ou seco) e 11%, a produção de produtos não alimentícios (e.g. farinha e óleo de peixe) (FAO, 2019).

Globalmente, o pescado representa cerca de 20% da ingestão média de proteína animal para quase 3,3 bilhões de pessoas (FAO, 2019). De modo geral, o pescado apresenta altos teores de proteínas, lipídios, minerais e vitamina (Tilami; Sampels, 2017; Vitorino et al., 2020). O consumo regular deste alimento está associado a redução do risco de morte por doenças cardíacas, redução do risco de acidente vascular cerebral e até ação anti-inflamatória devido a presença dos ácidos graxos poli-insaturados (e.g. ômega-3 e ômega-6) (Sartori; Amancio, 2012; Soares et al., 2019). Apesar desses benefícios, o pescado pode ser considerado fonte de exposição humana a uma variedade de contaminantes (Anh et al., 2017; Lavoie et al., 2018; Tongo et al., 2017; Pisciotano; Mita; Gallo, 2020). A presença de compostos tóxicos em pescados e o risco associado à intoxicação humana ainda são pouco estudados (Gonkowski et al., 2018). Os estudos são limitados a contaminantes orgânicos como os metais (Naess et al., 2020;

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Química e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Química e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande, RS, Brasil.

\* Autor de correspondência: wesclenvilar@gmail.com

Rejomon et al., 2010), ignorando o impacto da exposição humana a outros contaminantes tóxicos como as micotoxinas (Ladeira et al., 2017). Os efeitos ocasionados por estes compostos estão relacionados, particularmente, aos sistemas nervoso e hematopoiético, além dos rins e trato gastrointestinal, podendo causar efeitos cardiovasculares, citotóxicos, genotóxicos (Mamur et al., 2020), mutagênicos e cancerígenos (Ostry et al., 2017) para humanos e animais (IARC, 2002; Adam et al., 2017).

Em virtude da alta produção e consumo de peixe e os efeitos nocivos das micotoxinas, neste capítulo foram descritas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em pescado, com foco em peixe. Além disso, considerando os maiores níveis de ocorrência para cada micotoxina, determinou-se o risco de exposição a população de países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes conforme classificação da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.

## MICOTOXINAS

Alguns gêneros fúngicos, especialmente os saprófitos (e.g. *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium*), quando submetidos a condições de estresse e oscilações nutricionais, sintetizam metabólitos secundários, as denominadas micotoxinas (Danial et al., 2020; Gambacorta et al., 2018; Krnjaja et al., 2020). A contaminação fúngica e síntese de micotoxinas pode ocorrer no campo, durante e após a colheita (Villa; Markaki, 2009), transporte, processamento e armazenamento de um determinado produto (Flores-Flores et al., 2015).

Dentre os fungos, espécies toxigênicas pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* são os principais responsáveis pela síntese de micotoxinas (Marin et al., 2013). As principais micotoxinas produzidas por espécies do gênero *Aspergillus* são as aflatoxinas (AFs) dos grupos B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub> (Razzaghi-Abyaneh et al., 2011). Dentre as AFs, a AFB<sub>1</sub> apresenta elevada ocorrência e altas concentrações incidentes em alimentos (Sun et al., 2015; Tola et al., 2015; Michelin et al., 2016; Tolosa et al., 2019; Christ-Ribeiro et al., 2020; Nogueira et al., 2020a), além de possuir potencial como agente carcinogênico para animais (IARC, 2002). Com relação ao gênero *Penicillium*, a ocratoxina A (OTA) é considerada uma das micotoxinas mais importantes (Schmidt-Heydt et al., 2012), apresentando efeito nefrotóxicos, teratogênicos (Tiemann et al., 2009) e carcinogênicos (Nogueira; Oliveira, 2006).

Para o gênero *Fusarium*, destacam-se as fumonisinas, micotoxina com alta incidência em gêneros alimentícios (Munawar et al., 2019). Seu alto potencial tóxico consiste na inibição da ceramida sintetase, enzima responsável pela síntese de esfingolipídios (Hedler; Silva, 2017). Outra micotoxina produzida por esse gênero fúngico é a zearalenona (ZEN), micotoxina com grande potencial estrogênico, imunossupressor e teratogênico em animais (Bennett; Klich, 2003). Além dessas, destacam-se a moniliformina (MON), eniatinas (ENs), beauvericina (BEA) (Afolabi et al., 2020; Witaszak et al., 2020)



e diversos compostos da classe dos tricotecenos, com destaque para nivalenol (NIV), deoxinivalenol (DON) e toxina T-2 (Pestka, 2007). Esses metabólitos apresentam elevada ocorrência em alimentos (Seus-Arraché et al., 2018), podendo ocasionar distúrbio do trato gastrointestinal de animais (Forsythe, 2013), além de efeitos imunotóxicos (Iqbal et al., 2014). Os tricotecenos ainda são considerados potentes inibidores da síntese proteica em eucarióticos, interferindo nas fases de iniciação, alongação e terminação, fator de pré-disposição a diversas doenças (Pestka, 2007).

## LEGISLAÇÃO

A contaminação por micotoxinas é muito difundida (Gonçalves et al., 2016; Matejova et al., 2017). Devido aos efeitos que as micotoxinas podem oferecer a humanos e animais, é possível diminuir o risco de exposição pela implementação de limites máximo tolerável (LMT) de micotoxinas em produtos alimentícios em diferentes países. No entanto, não existe legislação para a presença desses metabólitos em pescado destinados ao consumo humano a nível mundial. Os níveis máximos legislados são estabelecidos apenas para rações e matérias-primas empregadas diretamente ou como ingrediente de rações destinadas a animais (FAO, 1997).

Em relação a ração para animais, as concentrações máximas de micotoxinas estabelecidas para os países do continente americano variam e são descritas pelo limite máximo apenas para aflatoxinas totais ( $AFB_1 + AFB_2 + AFG_1 + AFG_2$ ) ( $10$  a  $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) e  $AFB_1$  ( $5$  a  $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) (FAO, 1997). Para países da Europa, as legislações estabelecem níveis máximos para aflatoxinas totais (AFs) ( $2,5$  a  $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ ),  $AFB_1$  ( $1$  a  $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) patulina - PAT ( $30 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), OTA ( $3$  a  $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) e ZEN ( $100$  a  $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) (FAO, 1997). Na África, os níveis máximos são estabelecidos apenas para AFs ( $10$  a  $100 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) e  $AFB_1$  ( $5$  a  $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) (FAO, 1997). Na Ásia, as legislações abrangem os níveis máximos para AFs ( $30 \mu\text{g kg}^{-1}$ ),  $AFB_1$  ( $10$  a  $1000 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) e OTA ( $300 \mu\text{g kg}^{-1}$ ). E, os países da Oceania também estabelecem apenas os níveis máximos para AFs ( $5 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) (FAO, 1997).

## OCORRÊNCIA DE MICOTOXINAS EM PESCADO

De acordo com os órgãos regulamentadores, a presença de micotoxinas em concentrações inferiores aos limites regulamentados são considerados seguros, não apresentando efeito tóxico devido o processo de detoxificação do organismo (Cavret; Lecoecur, 2006; Gajecka et al., 2009; Upadhaya et al., 2010). Esses valores não seriam capazes de ocasionam efeitos adversos aos consumidores (FAO, 1997). Os estudos em produtos de origem animal estão concentrados, principalmente, em leite e derivados (Michlig et al., 2016; Marimón-Sibaja et al., 2018). Além disto, os relatos descrevem majoritariamente a presença de aflatoxina B<sub>1</sub> e o produto de sua metabolização, a aflatoxina M<sub>1</sub> (AFM<sub>1</sub>) (Chavarría et al.,

2015; Ortiz-Martínez et al., 2016; Gonçalves et al., 2018; Michlig et al., 2016; Marimón-Sibaja et al., 2018). Entretanto, apesar de escassos, estudos relatam a ocorrência de micotoxinas em músculo de espécies ícticas conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Ocorrência de micotoxinas em músculo de peixes. Fonte: os autores.

| <b>Espécie</b>                 | <b>Micotoxina (FC - <math>\mu\text{g kg}^{-1}</math>)</b>   | <b>País</b> | <b>Fonte</b>            |
|--------------------------------|---|-------------|-------------------------|
| <i>Astyanax altiparanae</i>    | AFB <sub>1</sub> (6,64 - 58,47)                             | Brasil      | Michelin et al. (2016)  |
| <i>Cyprinus carpio</i> ,       | OTA (<0,3 - 0,8) e  | China       | Sun et al. (2015)       |
| <i>Carassius carassius</i> ,   | ZEN (<0,4 - 0,5)  |             |                         |
| <i>Ctenopharyngodon idella</i> |   |             |                         |
| <i>Limnothrissa miodon</i> ,   | ZEN (29,2 - 50,7),  | Zambia      | Gonkowski et al. (2018) |
| <i>Stolothrissa tanganicae</i> | $\alpha$ -ZEL (<3,0 - 70,0),<br>$\beta$ -ZEL (<12,0 - 57,0) |             |                         |
| <i>Dicentrarchus labrax</i> ,  | ENA <sub>1</sub> (1,7 - 29,0),                              | Espanha     | Tolosa et al. (2017)    |
| <i>Sparus aurata</i> ,         | ENB (1,3 - 103,0),  |             |                         |
| <i>Salmo salar</i> ,           | ENB <sub>1</sub> (1,4 - 94,0)                               |             |                         |
| <i>Oncorhynchus mykiss</i>     |   |             |                         |

FC = faixa de contaminação. AFB<sub>1</sub> = aflatoxina B<sub>1</sub>; ENA<sub>1</sub> = enniatina A<sub>1</sub>; ENB = enniatina B; ENB<sub>1</sub> = enniatina B<sub>1</sub>; OTA = ocratoxina A; ZEN = zearalenona;  $\alpha$ -ZEL =  $\alpha$ -zearalenol;  $\beta$ -ZEL =  $\beta$ -zearalenol.

A qualidade biológica de pescados em relação a presença de micotoxinas pode estar relacionada às características químicas das micotoxinas. Em estado puro, algumas micotoxinas são extremamente estáveis a altas temperaturas (150 °C) e resistentes ao frio, além de serem incolores, inodoras e não alterarem o sabor dos alimentos (Channaiah, 2019). Essas características permitem que esses metabólitos persistam no alimento mesmo após os processos usuais de industrialização (Pankaj; Shi; Keener, 2018). Desta forma, a presença de micotoxinas em músculo de peixe pode estar relacionado a transferência vertical na cadeia produtiva, da matéria-prima até a produção de ração e, alimentar, da ração para o peixe (Michelin et al., 2016).

Estudos de longo prazo em alimentos ao redor do mundo indicam que aproximadamente 70% dos alimentos utilizados para consumo humano ou animal podem estar contaminados com pelo menos uma micotoxina, porém, em grande maioria, várias micotoxinas podem ocorrer de forma simultânea

em uma única matéria-prima (Tabela 2). Além disso, outros estudos relatam elevadas concentrações de micotoxinas em rações destinadas a alimentação de espécies cultivadas (Tabela 3).

A problemática quanto a transferência de micotoxinas na cadeia produtiva de ração e alimentar para pescado está relacionada à bioacessibilidade e biodisponibilidade desses compostos (Martins et al., 2016; Noguera et al., 2020). A bioacessibilidade corresponde a fração de um determinado contaminante que é liberada da matriz alimentar e ficará disponível para absorção, a biodisponibilidade corresponde a fração bioacessível que alcançará a circulação sistêmica (Martins et al., 2016). Nogueira et al. (2020b) ao avaliar a bioacessibilidade *in vitro* de AFB<sub>1</sub> presente em ração contaminada naturalmente (16,5 µg kg<sup>-1</sup>) verificaram que 85% do seu conteúdo está passível para ser absorvido pelos peixes. Thomas et al. (2018) observaram que a suplementação dietética para juvenis de catfish (*Clarias gariepinus*) com AFB<sub>1</sub> em concentrações de 2 µg kg<sup>-1</sup>, inferiores as relatadas na Tabela 1, acarretaram reduções significativas ( $p < 0,05$ ) nas médias de comprimento, ganho de peso e taxa de crescimento específico.

**Tabela 2.** Ocorrência de micotoxinas em ingredientes de origem vegetal utilizados na formulação de dietas para peixes.

| Ingrediente | Micotoxinas (NMQ - $\mu\text{g kg}^{-1}$ )  | País           | Fonte                      |
|-------------|---|----------------|----------------------------|
| Arroz       | AFB <sub>1</sub> (40,0), AFB <sub>2</sub> (9,15), NIV (116,0), DAS (12,53), DON (115,0), FB <sub>1</sub> (75,1), ZEN (114,0), T-2 (32,0) e OTA (24,0) | Paquistão      | Majeed et al. (2018)       |
|             | ZEN (126,31)  | Brasil         | Savi et al. (2018)         |
| Amendoim    | AFB <sub>1</sub> (1,34), AFB <sub>2</sub> (0,27), AFG <sub>1</sub> (0,95), ZEN (26,8), OTA (0,65)   | China          | Chen et al. (2016)         |
| Aveia       | NIV (500,0), T-2 (132,0)  | Suíça          | Martin et al. (2018)       |
| Cevada      | AOH (1689,0), AME (6812) e AT (3678)  | Argentina      | Castañares et al. (2019)   |
| Milho       | FB <sub>1</sub> (846,59), OTA (26,71) e ZEN (109,14)  | China          | Zhang et al. (2018)        |
|             | BEA (1006,56), ENA (0,17), ENA <sub>1</sub> (0,16) e ENB <sub>1</sub> (0,32)  | China          | Han et al. (2018)          |
|             | DON (4300,7), 3-ADON (385,33) e 15-ADON (4811,06)   | China          | Yan et al. (2020)          |
| Soja        | DON (2,265) e ZEN (853,0)   | Croácia        | Pleadin et al. (2017)      |
|             | AFs (3430,0), OTA (125,0) e FB <sub>1</sub> (4286,0)  | África do Sul  | Egbuta et al. (2016)       |
|             | OTA (34,75)   | Argélia        | Zebiri et al. (2018)       |
| Trigo       | DON (55,76), MON (21,55) e ENs (0,55)   | Estados Unidos | Cowger et al. (2020)       |
|             | AOH (262)   | Itália         | Masiello et al. (2020)     |
|             | DON (6436,11), 3-ADON (149,49) e 15-ADON (24,46)  | China          | Yan et al. (2020)          |
|             | DON (1590,7) e ADONS (166,7)  | Brasil         | Seus-Arraché et al. (2018) |

NMQ = nível máximo quantificado; 3-ADON = 3-acetil-deoxinivalenol; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; ADONS = 3-acetil-deoxinivalenol + 15-acetil-deoxinivalenol; AFs = aflatoxinas totais (aflatoxina B<sub>1</sub> + aflatoxina B<sub>2</sub> + aflatoxina G<sub>1</sub> + aflatoxina G<sub>2</sub>); AFB<sub>1</sub> = aflatoxina B<sub>1</sub>; AFB<sub>2</sub> = aflatoxina B<sub>2</sub>; AFG<sub>1</sub> = aflatoxina G<sub>1</sub>; AME = alternariol monometil éter; AOH = alternariol; AT = ácido tenuazônico; BEA = beauvericina; DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol; ENs = eniatinas; ENA = enitiana A; ENA<sub>1</sub> = enitiana A<sub>1</sub>; ENB<sub>1</sub> = enitiana B<sub>1</sub>; FB<sub>1</sub> = fumonisina B<sub>1</sub>; FB<sub>2</sub> = fumonisina B<sub>2</sub>; MON = moniliformina; NIV = nivalenol; OTA = ocratoxina A; T-2 = toxina T-2; ZEN = zearalenona.

A ingesta de ração pode resultar na absorção de pequenas porções de micotoxinas e ocasionar efeitos acumulativo (Michelin et al., 2016) ou sinérgicos em curto ou longo prazo (Mohamed; Abd-Elsalam, 2020). Desta forma, mesmo que as espécies ícticas sejam expostas a micotoxinas de origem alimentar e os efeitos resultantes não sejam imediatos (Serviento et al., 2018), a possível retenção dessas toxinas em partes comestíveis pode representar um risco para o consumo humano (Michelin et al., 2016). As avaliações de exposição para humanos geralmente são baseadas em uma abordagem determinística obtendo os níveis estimados de ingestão diária (ID) para se avaliar o risco em consumir um alimento contendo micotoxinas (Pietsch, 2019).

**Tabela 3.** Ocorrência de micotoxinas em rações destinadas alimentação de peixes. Fonte: os autores.

| Micotoxinas (FC - $\mu\text{g kg}^{-1}$ )   | País   | Fonte                                |
|---|--|--------------------------------------|
| AFB <sub>1</sub> (0,1 - 16,5), OTA (2,2 - 31,6) e<br>ZEN (22,9 - 322,2)   | Brasil   | Nogueira et al. (2020b)              |
| AFs (<0,5 - 32), DON (<10 - 396),<br>FBs (<10 - 993), NIV (<10 - 53),<br>OTA (<0,5 - 3), ZEN (<10 - 153) e<br>15-ADON (<10 - 139)           | Índia, Indonésia,<br>Myanmar, Taiwan,<br>Tailândia | Gonçalves et al. (2018)              |
| ADONS (22,5 - 63,2), AFs (2,4 - 126),<br>DAS (0,7 - 1,1), FBs (69,1 - 755,4),<br>DON (33,2 - 2834,6), NIV (45 - 732,5) e<br>AOH (<2 - 91,3) | Quênia, Tanzânia,<br>Ruanda, Uganda                | Marijani et al. (2017)               |
| FBs (0,148 - 2587)  | México   | Rodríguez-Cervantes et al.<br>(2013) |
| AFs (52,5 - 150)  | Egito  | Hassan et al. (2011)                 |

FC = faixa de contaminação; LOD = limite de detecção; 15-ADON = 15-acetil-deoxinivalenol; ADONS = 3-acetil-deoxinivalenol + 15-acetil-deoxinivalenol; AFs = aflatoxinas totais (aflatoxina B<sub>1</sub> + aflatoxina B<sub>2</sub> + aflatoxina G<sub>1</sub> + aflatoxina G<sub>2</sub>); AFB<sub>1</sub> = aflatoxina B<sub>1</sub>; AOH = alternariol; DAS = diacetoxiscirpenol; DON = deoxinivalenol; FBs = fumonisinas totais (fumonisina B<sub>1</sub>+fumonisina B<sub>2</sub> + fumonisina B<sub>3</sub>); NIV = nivalenol; OTA = ocratoxina A; ZEN = zearalenona.

### ESTIMATIVA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO

A avaliação dos riscos à saúde associados ao consumo de peixe e exposição a micotoxinas é essencial para apoiar as ações destinadas a garantir um suprimento seguro de alimentos para a população (Marimón-Sibaja et al., 2018). A ingestão diária (ID) geralmente é calculada como  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal por dia para cada micotoxina (Pietsch, 2019). Desta forma, a ID foi estimada assumindo os

menores níveis de contaminação como ingestão mínima e os maiores como ingestão máxima para cada micotoxina conforme os dados de ocorrência reportados na Tabela 2. Para os cálculos foi estabelecido uma massa média corporal de 60 kg (Pietsch, 2019) e consumo médio de pescado de 0,06, 0,03 e 0,02 kg dia<sup>-1</sup> para países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes, respectivamente (FAO, 2018). A ID foi estimada através da Equação 1.

$$ID \text{ } \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{dia} = \frac{\text{ingestão de pescado} \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}}\right) \times \text{micotoxina no pescado} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{kg}}\right)}{\text{massa corporal (kg)}} \quad (1)$$

A Tabela 4 resume a ingestão diária (ID) de micotoxinas estimada em termos de concentração mínima e máxima. Os maiores valores de ID apresentaram uma ordem decrescente para países desenvolvidos, subdesenvolvidos e emergentes. Assim, apesar dos benefícios do consumo de peixe, a população de países desenvolvidos estaria mais susceptível a contaminação por micotoxinas. No entanto, os valores de ID calculados foram inferiores aos estabelecidos pelo Comitê de Peritos e Aditivos Alimentares e Comitê Científico da Alimentação da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2001; EC, 2002). Os valores determinados pelos comitês estabeleceram níveis de ingestão diária para humanos de 0,017 e 0,25  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal para OTA e ZEN, respectivamente. Além disso, também é estabelecido uma ingestão diária de 0,1  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para as toxinas T-2 e HT-2 juntas e 1  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal para DON. Para as aflatoxinas e demais micotoxinas, nenhum nível de ingestão diária é estabelecido.

Entretanto, Michelin et al. (2016) avaliando exposição oral de lambari (*Astyanax altiparanae*) a AFB<sub>1</sub> (10; 20 e 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) no Brasil, constatou que após 120 dias de experimento a concentração da micotoxina no músculo foi tão alta quanto os níveis da ração. Os autores concluíram e relatam que os limites para AFB<sub>1</sub> em rações no Brasil (50  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), não garantem segurança aos consumidores da espécie estudada. Os efeitos ocasionados por essa micotoxina são baseados na bioativação de metabólitos que podem interagir rapidamente com organelas celulares e macromoléculas e induzir a modificação de processos metabólicos normais e outros processos vitais. A biotransformação pelas monooxigenases (CYP) do citocromo P450 hepático produz AFB<sub>1</sub>-8,9-epóxido, que está associada às propriedades de ligação ao DNA, composto relacionado à mutagenicidade e carcinogenicidade da AFB<sub>1</sub> (Vlastimil et al., 2014).

Desta forma, os limites máximos estabelecidos para AFB<sub>1</sub> em diversos países na América (5 a 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), Europa (1 a 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), África (5 a 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) e Ásia (10 a 1000  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) não garantem 100% de segurança para os consumidores. Entretanto, apesar dessas constatações, evidencia-se a necessidade de investigação quanto a bioacessibilidade (Nogueira et al., 2020b) e biodisponibilidade da AFB<sub>1</sub> que pode variar de uma espécie para outra (Sun et al., 2015; Michelin et al., 2016; Tolosa et al., 2017). Além

disto, maior enfoque também deve ser dados a outras micotoxinas além da AFB<sub>1</sub>, pois, apesar de não existir nenhum nível de ingestão diária estabelecido ou níveis toleráveis para sua ocorrência em matérias-primas a serem utilizadas diretamente ou como ingrediente para rações destinadas ao consumo de espécies animais, sua ocorrência em músculo é reportada neste estudo.

**Tabela 4.** Estimativa da Ingestão diária (ID) de micotoxinas.

| Ingestão | Micotoxinas      | ID $\mu\text{g kg}^{-1}$ |                  |            |
|----------|------------------|--------------------------|------------------|------------|
|          |                  | Desenvolvidos            | Subdesenvolvidos | Emergentes |
| Mínima   | AFB <sub>1</sub> | 0,006                    | 0,003            | 0,002      |
|          | ENA <sub>1</sub> | 0,001                    | 0,0008           | 0,0005     |
|          | ENB              | 0,001                    | 0,0006           | 0,0004     |
|          | ENB <sub>1</sub> | 0,001                    | 0,0007           | 0,0004     |
|          | OTA              | 0,0003                   | 0,0001           | 0,0001     |
|          | ZEN              | 0,0004                   | 0,0002           | 0,0001     |
|          | $\alpha$ -ZEL    | 0,003                    | 0,001            | 0,001      |
|          | $\beta$ -ZEL     | 0,012                    | 0,006            | 0,004      |
| Máxima   | AFB <sub>1</sub> | 0,058                    | 0,029            | 0,019      |
|          | ENA <sub>1</sub> | 0,029                    | 0,014            | 0,009      |
|          | ENB              | 0,103                    | 0,051            | 0,034      |
|          | ENB <sub>1</sub> | 0,094                    | 0,047            | 0,031      |
|          | OTA              | 0,0008                   | 0,0004           | 0,0002     |
|          | ZEN              | 0,050                    | 0,025            | 0,016      |
|          | $\alpha$ -ZEL    | 0,070                    | 0,035            | 0,023      |
|          | $\beta$ -ZEL     | 0,057                    | 0,028            | 0,019      |

## CONCLUSÃO

Os dados apresentados demonstraram existir poucas informações sobre a ocorrência de micotoxinas em pescado. Entretanto, a ocorrência de micotoxinas em matérias-primas (e.g. cereais) e ração destinada a alimentação de peixes é recorrente. A alta incidência em matérias-primas e rações representa uma preocupação devido o processo de transferência vertical na cadeia alimentar, pois a ingestão de pequenas quantidades desse metabólito pode apresentar risco para humanos e animais. Entretanto, a adoção de boas práticas agrícolas ou técnicas que visem a degradação destas toxinas durante toda a cadeia produtiva de grãos e fabricação de rações são alternativas para reduzir o processo de biodisponibilidade desses compostos. Além disso, a exposição pela implementação de limites máximo tolerável (LMT) de micotoxinas em produtos alimentícios em diferentes países pode reduzir os efeitos em animais, bem como o risco para humanos pelo consumo de produtos (e.g. peixe congelado, fresco, enlatado ou seco) oriundos da piscicultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adam MAA, Tabana YM, Musa KB, Sandai DA (2017). Effects of different mycotoxins on humans, cell genome and their involvement in cancer. *Oncology Reports*, 37(3): 1321-1336.
- Afolabi CG, Ezekiel CN, Ogunbiyi AE, Oluwadairo OJ, Sulyok M, Krska R (2020). Fungi and mycotoxins in cowpea (*Vigna unguiculata* L) on Nigerian markets. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13(1): 52-58.
- Anh H Q, Nam VD, Tri TM, Ha NM, Ngoc NT, Mai PTN, Anh DH, Minh NH, Tuan NA, Minh TB (2017). Polybrominated diphenyl ethers in plastic products, indoor dust, sediment and fish from informal e-waste recycling sites in Vietnam: a comprehensive assessment of contamination, accumulation pattern, emissions, and human exposure. *Environ Geochem Health*, 39(1): 935-954.
- Bennett JW, Klich M (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(1): 497-516.
- Brasil (2017). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. *Decreto nº 9013 do Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal*. Brasília: MAPA. 76p.
- Castañares E, Pavicich MA, Dinolfo MI, Moreyra F, Stenglein AS, Patriarca A (2019). Ocorrência natural de micotoxinas de *Alternaria* em grãos de cevada para malte na principal região produtora da Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1(1): 1-29.
- Cavret S, Lecoecur S (2006). Fusariotoxin transfer in animal. *Food and Chemical Toxicology*, 44(3): 444-453.
- Channaiah, LH (2019). An overview of mycotoxicosis and human's health concerns: a mini-review. *Health Perspect*, 107(3): 469-472.



- Chavarría G, Granados-Chinchilla F, Alfaro-Cascante M, Molin A (2015). Detection of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk, cheese and sour cream samples from Costa Rica using enzyme-assisted extraction and HPLC. *Food Additives and Contaminates Part B*, 8(2): 128-135.
- Chen F, Luan C, Wang L, Wang S, Shao L (2016). Simultaneous determination of six mycotoxins in peanut by high-performance liquid chromatography with a fluorescence detector. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6): 1805-1810.
- Christ-Ribeiro A, Borba VS, Rodrigues MHP, Nogueira WV, Marimón-Sibaja KV, Badiale-Furlong E (2020). Personnel training and its role in generating information about demands to mitigate or mycotoxin problem. *Brazilian Applied Science Review*, 4(1): 176-185.
- Cowger C, Ward TJ, Nilsson K, Arellano C, McCormick SP, Busman M (2020). Regional and field-specific differences in *Fusarium* species and mycotoxins associated with blighted North Carolina wheat. *International Journal of Food Microbiology*, 323(1): 1-11.
- Daniel AM, Medina A, Sulyok M, Magan N (2020). Efficacy of metabolites of a *Streptomyces* strain (AS1) to control growth and mycotoxin production by *Penicillium verrucosum*, *Fusarium verticillioides* and *Aspergillus fumigatus* in culture. *Mycotoxin Research*, 36(1): 225-234.
- EC - European Commission (2002). Committee on Food on *Fusarium* toxins. Part 6: Group evaluation of T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol and deoxynivalenol. Bruxelles: EC. 12p.
- Egbuta MA, Mwanza M, Phoku JZ, Chilaka CA, Dutton MF (2016). Comparative analysis of mycotoxigenic fungi and mycotoxins contaminating soya bean seeds and processed soya bean from Nigerian markets. *Adv Microbiol*, 6(14): 1130-1139.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (1997). *Worldwide regulations for mycotoxins 1995 - a compendium FAO food and nutrition paper*. 1 ed. FAO, Roma, 64p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2001). *Safety evaluation of certain mycotoxins in food*. 1 ed. FAO, Rome. 712p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Fisbery and aquaculture statistics*. 1 ed. FAO, Rome. 108p.
- Flores-Flores ME, Lizarraga E, Cerain ALD, González-Peñas E (2015). Presence of mycotoxins in animal milk: a review. *Food Control*, 53(1): 163-176.
- Forsythe SJ (2013). *Microbiologia da segurança dos alimentos*. 1 ed. Artmed: Porto Alegre. 602p.
- Gajecka M, Jakimiuk E, Zielonka L, Obremski K, Gajecki M (2009). The biotransformation of chosen mycotoxins. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 12(2): 293-303.
- Gambacorta L, Magistà D, Perrone G, Murgolo S, Logrieco AF, Solfrizzo M (2018). Co-occurrence of toxigenic moulds, aflatoxins, ochratoxin A, *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins in fresh sweet peppers (*Capsicum annuum*) and their processed products. *World Mycotoxin Journal*, 11(1): 159-174.

- Gonçalves KDM, Sibaja KVM, Feltrin ACP, Remedi RD, Garcia SO, Garda-Buffon J (2018). Occurrence of aflatoxins B<sub>1</sub> and M<sub>1</sub> in milk powder and UHT consumed in the city of Assomada (Cape Verde Islands) and Southern Brazil. *Food Control*, 93(1): 260-264.
- Gonçalves RA, Hofstetter U, Schatzmayr D, Jenkins T (2018). Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. *World Mycotoxin Journal*, 11(2): 34-39.
- Gonçalves RA, Naehrer K, Santos GA (2016). Occurrence of mycotoxins in commercial aquafeeds in Asia and Europe: a real risk to aquaculture? *Reviews in Aquaculture*, 1(1): 1-18.
- Gonkowski S, Obremski K, Makowska K, Rytel L, Mwaanga ES (2018). Levels of zearalenone and its metabolites in sun-dried kapenta fish and water of Lake Kariba in Zambia - A preliminary study. *Science of the Total Environment*, 637(638): 1046-1050.
- 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.
- Hassan AA, Hassan MA, El Shafei HM, El Ahl RMHS, El-Dayem RHA (2011). Detection of aflatoxigenic moulds isolated from fish and their products and its public health significance. *Nature and Science*, 9(9): 106-114.
- Hedler DL, Silva SCC (2017). Expressão gênica da enzima spl no fígado de tilápias-do-nilo desafiadas com níveis crescentes de fumonisinas por 30 dias. In: Centro Universitário de Maringá (Eds.). Encontro internacional de produção científica. Maringa: UniCesumar, 1(10): 1-5.
- IARC - International Agency for Research on Cancer (2002). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. 1 ed. IARCpress, Lyon. 601p.
- Iqbal SZ, Nisar S, Asi MR, Jinap S (2014). Natural incidence of aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in chicken meat and eggs. *Food Control*, 43(1): 98-103.
- Krnjaja V, Mandić V, Bijelić Z, Lukić M, Petrović T, Stanković S, Nikolić M (2020). Natural toxigenic fungal and mycotoxin occurrence in maize hybrids. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 36(1): 75-85.
- Ladeira C, Frazzoli C, Orisakwe OE (2017) one health for non-communicable diseases in Africa: perspective for mycotoxins. *Frontiers in Public Health*, 1(1): 1-15.
- Lavoie RA, Bouffard A, Maranger R, Amyot M (2018). Mercury transport and human exposure from global marine fisheries. *Scientific Reports*, 8(1): 1-9.
- 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.
- Mamur S, Ünal F, Yılmaz S, Erikel E, Yüzbaşıoğlu D (2020). Evaluation of the cytotoxic and genotoxic effects of mycotoxin fusaric acid. *Journal Drug and Chemical Toxicology*, 43(2): 149-157.

- 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.
- Marimón-Sibaja KV, Garcia SO, Feltrin ACP, Remedi RD, Cerqueira MBR, Badiale-Furlong E, Gardabuffon J (2018). Aflatoxin biotransformation by commercial peroxidase and its application in contaminated food. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 94(4): 1187-1194.
- Marin S, Ramos AJ, Cano-Sancho G, Sanchis V (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60(1): 218-237.
- Martin C, Schöneberg T, Vogelgsang S, Ferreira CSM, Morisoli R, Bertossa M, Bucheli TD, Mauch-Mani B, Mascher F (2018). Responses of oat grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* infections and mycotoxin contaminations. *Toxins*, 10(1): 1-18.
- Martins N, Barros L, Ferreira ICFR (2016). *In vivo* antioxidant activity of phenolic compounds: facts and gaps. *Trends in Food Science & Technology*, 48(1): 1-12.
- Masiello M, Somma S, Susca A, Ghionna V, Logrieco AF, Franzoni M, Ravaglia S, Meca G, Moretti A (2020). Molecular identification and mycotoxin production by *A. liernaria* species occurring on durum wheat, showing black point symptoms. *Toxins*, 12(1): 1-16.
- Matejova I, Faldyna M, Modra H, Blahova J, Palikova M, Markova Z, Franc A, Vicenova M, Vojtek L, Bartonkova J, Schonova P, Hostovsky M, Svobodova Z (2017). Effect of T-2 toxin-contaminated diet on common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Fish and Shellfish Immunology*, 60(1): 458-465.
- Michelin EC, Moassocco MM, Godoy SHS, Baldin JC, Yasui GS, Lima GG, Rottinghaus GE, Sousa RLM, Fernandes AM (2016). Carryover of aflatoxins from feed to lambari fish (*Astyanax altiparanae*) tissues. *Food Additives & Contaminants Part A*, 34(1): 265-272.
- Michlig N, Signorini M, Gaggiotti M, Chiericatti C, Basílico JC, Repetti MR, Beldomenico HR (2016). Risk factors associated with the presence of aflatoxin M<sub>1</sub> in raw bulk milk from Argentina. *Food Control*, 64(1): 151-156.
- Mohamed MA, Abd-Elsalam KA (2020). *Nanomycotoxicology: treating mycotoxins in the nano way*. 1 ed. Elsevier, Amsterdã. 378p.
- Munawar H, Karim K, Piletsky SA (2019). Utilization of synthetic antibody for fumonisin determination in feed and food. *Wartazoa*. 29(2): 51-60.
- Naess S, Aakre I, Lundebye AK, Ørnstrud R, Kjellevold M, Markhus MW, Dahl L (2020). Mercury, lead, arsenic, and cadmium in Norwegian seafood products and consumer exposure. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13(1): 1-9.

- Nogueira S, Oliveira MBPP (2006). Ochratoxin A prevalence in food and consequent food safety problems (in Portuguese). *Revista da Sociedade Portuguesa de Ciências da Nutrição e Alimentação*, 12(1): 69-75.
- Nogueira WV, Oliveira FK, Garcia SO, Marimón-Sibaja KV, Tesser MB, Garda-Bufferon J (2020a). Sources, quantification techniques, associated hazards, and control measures of mycotoxin contamination of aquafeed. *Critical Reviews in Microbiology*, 46(1): 26-37.
- Nogueira WV, Oliveira FK, Marimón-Sibaja KV, Garcia SO, Kupski L, Souza MM, Tesser MB, Garda-Bufferon J (2020b). Occurrence and bioaccessibility of mycotoxins in fish feed. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 1(1): 1-8.
- Ortiz-Martinez R, Valdivia-Flores AG, Luna-Lopez M, Quezada-Tristan T, Miranda-Castañeda CA, Rangel-Muñoz EJ, Cruz-Vazquez C (2016). Occurrence of aflatoxins in milk since dairy farms until consumers: an exploratory study. *Toxicology Letters*, 258(1): S87-S88.
- Ostry V, Malir F, Toman J, Grosse Y (2017). Mycotoxins as human carcinogens—the IARC Monographs classification. *Mycotoxin Research*, 33(1): 65-73.
- Pestka J (2007). Deoxynivalenol: toxicity, mechanisms and animal health risks. *Animal Feed Science and Technology*, 137(3): 283-298.
- Pietsch C (2019). Food safety: the risk of mycotoxin contamination in fish. In: Sabuncuoglu S (Eds.). *Mycotoxins and food safety*. Turquia: Intech Open, 1(1): 1-25.
- Pisciottano IDM, Mita GD, Gallo P (2020). Bisphenol A, octylphenols and nonylphenols in fish muscle determined by LC/ESI-MS/MS after affinity chromatography clean up. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 13(1): 1-9.
- Pleadin J, Frece J, Lešić T, Zadavec M, Vahčić N, Staver MM, Markov K (2017). Deoxynivalenol and zearalenone in unprocessed cereals and soybean from different cultivation regions in Croatia. *Food Additives & Contaminants*, 10(4): 268-274.
- Razzaghi-Abyaneh M, Shams-Ghahfarokhi M, Chang PK (2011). Aflatoxins: mechanisms of inhibition by antagonistic plants and microorganisms. In: Guevara-González RG (Eds.). *Aflatoxins - biochemistry and molecular biology*. Queretaro: InTech, 1(1): 255-282.
- Rejomon G, Nair M, Joseph T (2010). Trace metals dynamics in fishes from the southwest coast of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 167(4): 243-255.
- Rodríguez-Cervantes CH, Ramos AJ, Robledo-Marengo ML, Sanchis V, Marín S, Girón-Pérez MI (2013). Determination of aflatoxin and fumonisin levels through ELISA and HPLC, on tilapia feed in Nayarit, Mexico. *Food and Agricultural Immunology*, 24(3): 269-278.
- Sartori AGO, Amancio RD (2012). Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. *Segurança alimentar e nutricional*, 19(2): 83-93.


- Savi DG, Piacentini KC, Rocha LO, Carnielli-Queiroz L, Furtado BG, Scussel R, Zanoni ET, Ávila RAM, Corrêa B, Angioletto E (2018). Incidence of toxigenic fungi and ZEN ralenone in rice grains from Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, 270(1): 5-13.
- Schmidt-Heydt M, Graf E, Stoll D, Geisen R (2012). The biosynthesis of ochratoxin A by *Penicillium* as one mechanism for adaptation to NaCl rich foods. *Food Microbiology*, 29(1): 233-241.
- Serviento AM, Brossard L, Renaudeau D (2018). An acute challenge with a deoxynivalenol-contaminated diet has short- and long-term effects on performance and feeding behavior in finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 96(12): 5209-5221.
- Seus-Arraché ER, Fontes MRV, Garda-Bufferon J, Badiale-Furlong E (2018). Trichothecenes in wheat: Methodology, occurrence and human exposure risk. *Journal of Cereal Science*, 82(1): 129-137.
- Soares LF, Ouboter P, Abdoel-Wahid F, Hindori-Mohangoo AD, Donald-Ottevanger M, Zijlmans C, Lichtveld M, Wickliffe J (2019). Omega-3 and omega-6 fatty acid profiles in select freshwater and marine species of fish in Suriname. *Environmental Epidemiology*, 3(1): 120-126.
- Sun W, Han Z, Aerts J, Nie D, Jin M, Shi W, Zhao Z, Saeger S, Zhao Y, Wu A (2015). A reliable liquid chromatography-tandem mass spectrometry method for simultaneous determination of multiple mycotoxins in fresh fish and dried seafoods. *Journal of Chromatography A*, 1387(1): 42-48.
- Tiemann U, Tomek W, Schneider F, Müller M, Pöhland R, Vanselow J (2009). The mycotoxins alternariol and alternariol methyl ether negatively affect progesterone synthesis in porcine granulosa cells in vitro. *Toxicology Letters*, 186(1): 139-145.
- Tilami SK, Sampels S (2017). Nutritional value of fish: lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 15(1): 14-29.
- Tola S, Bureau DP, Hooft JM, Beamish FWH, Sulyok M, Krska R, Encarnação P, Petkam R (2015). Effects of wheat naturally contaminated with fusarium mycotoxins on growth performance and selected health indices of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Toxins*, 7(6): 1929-1944.
- Tolosa J, Barba FJ, Font G, Ferrer E (2019). Mycotoxin incidence in some fish products: QuEChERS methodology and liquid chromatography linear ion trap tandem mass spectrometry approach. *Molecules*, 24(3): 1-11.
- Tolosa J, Font G, Mañes J, Ferrer E (2017). Mitigation of enniatins in edible fish tissues by thermal processes and identification of degradation products. *Food and Chemical Toxicology*, 101(1): 67-74.
- Tongo I, Ogbeide O, Ezemonye L (2017). Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*, 4(1): 55-61.
- Upadhaya SD, Park MA, Ha JK (2010). Mycotoxins and their biotransformation in the rumen: a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(9): 1250-1260.

- Villa P, Markaki P (2009). Aflatoxin B<sub>1</sub> and ochratoxin A in breakfast cereals from athens market: occurrence and risk assessment. *Food Control*, 20(1): 455-461.
- Vitorino KC, Chambo APS, Coradini MF, Matiucci MA, Michka JMG, Goes ESR, Gonçalves AA, Souza MLR (2020). Cereal bars flavored with fish protein concentrate from different species. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(1): 65-72.
- Vlastimil D, Wu Q, Kuca K (2014). Metabolism of aflatoxin: key enzymes and interindividual as well as interspecies differences. *Archives of Toxicology*, 88(9): 1635-1644.
- Witaszak N, Waśkiewicz A, Bocianowski J, Stępień L (2020). Contamination of pet food with mycobiota and *Fusarium* mycotoxins—focus on dogs and cats. *Toxins*, 12(2): 130-144.
- Yan P, Liu Z, Liu S, Yao L, Liu Y, Wu Y, Gong Z (2020). Natural occurrence of deoxynivalenol and its acetylated derivatives in chinese maize and wheat collected in 2017. *Toxins*, 12(1): 1-15.
- Zebiri S, Mokrane S, Verheecke-Vaessen C, Choque E, Reghioui H, Sabaou N, Mathieu F, Riba A (2018). Occurrence of ochratoxin A in Algerian wheat and its milling derivatives. *Toxin Reviews*, 38(3): 1-6.
- Zhang X, Wang Z, Fang Y, Sun R, Cao T, Paudyal N, Fang W, Song H (2018). Antibody microarray immunoassay for simultaneous quantification of multiple mycotoxins in corn samples. *Toxins*, 10(415): 1-13.

## Aditivos alimentares naturais emergentes: Uma revisão


Recebido em: 17/07/2020


Aceito em: 01/08/2020

 10.46420/9786588319031cap3

Juliana Mendes Garcia Pereira<sup>1\*</sup> 

Maysa Formigoni<sup>1</sup> 

Franciele Leila Giopato Viell<sup>1</sup> 

Giseli Cristina Pante<sup>1</sup> 

Evandro Bona<sup>2</sup> 

Angélica Marquetotti Salcedo Vieira<sup>1,3</sup> 

### INTRODUÇÃO

Aditivos alimentares são substâncias químicas incorporadas aos alimentos processados ou bebidas para melhorar as características organolépticas e atender às necessidades de produção, processamento, armazenamento e distribuição do produto. De acordo com seu uso industrial, os aditivos são classificados em 25 classes, que incluem uma infinidade de compostos com funcionalidades específicas que podem ser utilizados seguindo a legislação particular de cada país e uma política de segurança alimentar (Carocho et al., 2014; Carocho et al., 2018; Martins et al., 2019).

Os aditivos alimentares podem ser naturais ou sintéticos. Os primeiros, podem ocorrer naturalmente no alimento ou serem recuperadas de uma fonte natural, já os sintéticos, são definidos como substâncias artificialmente sintetizadas (Zeece, 2020) e representam a classe de aditivos mais utilizados na indústria devido sua estabilidade química, fácil aplicação e baixo custo. No entanto, nos últimos anos, a utilização de substâncias naturais em sistemas alimentares como substitutos às substâncias sintéticas passou a representar uma das principais tendências e desafios da indústria de alimentos, principalmente devido à alta toxicidade e aos problemas alergênicos associados aos aditivos artificialmente sintetizados.

Este cenário tem impulsionado pesquisadores na busca por novas fontes naturais com potencial uso como aditivo alimentar. Corantes, aromatizantes, antioxidantes e agentes de corpo estão entre os aditivos mais comuns incorporados aos alimentos. Ainda que cheias de aspectos desafiadores,

<sup>1</sup> Pós-graduação em Ciência de alimentos, departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Brasil.

\*Autor de correspondência: juliana\_mendes\_88@hotmail.com

numerosas pesquisas têm sido realizadas e diversas fontes naturais têm sido testadas para obtenção de novos aditivos (Cuevas-Glory et al., 2020; Giuffrida et al., 2020; He et al., 2020; Jahurul et al., 2020; Lombardelli et al., 2020; Pataro et al., 2020; Böcker et al., 2020; Pardilhó et al., 2020; Dini et al., 2020; De Biaggi et al., 2020; Fidelis et al., 2020; Bernaerts et al., 2019).

Embora os aditivos naturais tenham seus méritos para as indústrias de alimentos, seu uso requer uma política rigorosa de segurança alimentar. A *European Food Safety Authority* (EFSA) e a *Food and Drug Administration* (FDA) são importantes órgãos governamentais que mundialmente legislam e supervisionam a aprovação e a regulamentação de novos aditivos alimentares. No Brasil, o órgão responsável por essa regulamentação é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Antes de ser autorizado o uso de um aditivo, este deve ser submetido a uma adequada avaliação toxicológica, em que se deve levar em conta, dentre outros aspectos, qualquer efeito acumulativo, sinérgico e de proteção, decorrente do seu uso (Anvisa, 2020).

Neste capítulo, apresentamos as recentes pesquisas relacionadas a novas abordagens para obtenção de aditivos alimentares de fontes naturais possíveis de suprir a demanda mundial de novos ingredientes. Este estudo fornece uma compilação de pesquisas relevantes que podem auxiliar o leitor em identificar tendências para a indústria de alimentos ou novas áreas de pesquisa.

## **FONTES NATURAIS EMERGENTES**

Nos últimos anos, uma mudança significativa no perfil de consumo da população foi observada. Grande parte dos consumidores passou a se preocupar com os ingredientes contidos nos alimentos, tanto em relação a suas origens quanto ao destino assumido por estes quando ingeridos. Decorrente a isso, houve uma crescente percepção de que a ingestão de alimentos naturais ou pouco processados, associada a hábitos saudáveis, contribui para uma melhor qualidade de vida e conseqüentemente menor propensão a doenças metabólicas como obesidade, diabetes, dentre outras. Rótulos limpos, ou seja, sem a adição de aditivos sintéticos passaram a representar uma das principais tendências e desafios da indústria de alimentos.

A tentativa de adequação ao mercado consumidor atual tem impulsionado pesquisadores na busca por fontes de aditivos naturais e técnicas de recuperação emergentes. Pesquisas recentes têm demonstrado o potencial de diversas fontes naturais para extração ou recuperação de aditivos, ainda que repletos de aspectos desafiadores, como a estabilidade e sua interação com os compostos do alimento e no organismo. Antioxidantes, corantes, compostos aromáticos e agentes de corpo são as categorias de aditivos mais pesquisadas e novas abordagens acerca destes aditivos naturais foram revisadas neste capítulo.



Fontes vegetais têm representado a principal matriz para obtenção de compostos aromáticos naturais (Cuevas-Glory et al., 2020; Giuffrida et al., 2020; He et al., 2020; Jahurul et al., 2020; Kim et al., 2020; Liu et al., 2020; Mohd Ali et al., 2020), enquanto os pigmentos podem ser obtidos principalmente de resíduos industriais (Lombardelli et al., 2020; Pataro et al., 2020), algas ou microalgas marinhas (Böcker et al., 2020; Pardilhó et al., 2020), dentre outras (Dini et al., 2020; Silva et al., 2019). A pesquisa para extração de antioxidantes naturais tem sido extensiva e inúmeras matrizes têm sido avaliadas. Como para pigmentos e aromas, fontes vegetais (De Biaggi et al., 2020), subprodutos e resíduos industriais (Fidelis et al., 2020; Schneider et al., 2020) são os mais estudados. Algas ou microalgas e matrizes vegetais como flores tem sido estudadas para a recuperação de aditivos naturais que podem ser utilizados como agentes de corpo (Bernaerts et al., 2019).

## **FONTES NATURAIS PARA OBTENÇÃO DE ANTIOXIDANTES**

A definição mais aceitável de um antioxidante se dá por ser "uma substância que, quando presente em baixas concentrações em comparação com as de um substrato oxidável, atrasa significativamente ou impede a oxidação do mesmo" (Halliwell, 1990). Esta é uma definição universal e é válida para diferentes ações dos antioxidantes, como, por exemplo, a de combate aos radicais livres no organismo ou ação antioxidante em alimentos atuando nos processos de conservação como um aditivo alimentar.

Todas as substâncias antioxidantes seguem um dos sete mecanismos de ação que variam de acordo com o tipo de oxidante e atuam em: a) sequestro de radicais livres do meio; b) quelação de íons metálicos; c) inibição de enzimas produtoras de radicais livres; d) ativação de enzimas antioxidantes endógenas; e) prevenção de peroxidação lipídica; f) prevenção de danos ao DNA; g) prevenção de modificação de proteínas e destruição de açúcar (Carocho et al., 2018).

Os antioxidantes usados como aditivos alimentares são empregados com a finalidade de prolongar a vida útil dos alimentos, impedindo a rancificação, a perda de cor, desenvolvimento de odores, perda de textura, entre outros fenômenos que ocorrem em produtos alimentícios. As reações que protegem os alimentos são as mesmas que protegem as células dos organismos biológicos e têm um objetivo específico, evitar a oxidação, permitindo que os alimentos estejam em boas condições por mais tempo (Wu et al., 2019).

Os antioxidantes permitidos pela Anvisa para uso como aditivos alimentares são: ascorbatos (E300 - E304), tocoferóis (E306 - E309), galatos (E310 - E312), erytrobatos (E315 - E316), butilatos (E319 - E321), lactatos (E270, E325-E327), citratos e tartaratos (E330-E333; E380), tartaratos (E334 - E337; E353 - E354), fosfatos (E338-E345), malatos (E350 - E352), adipatos (E355 - E357); ácido

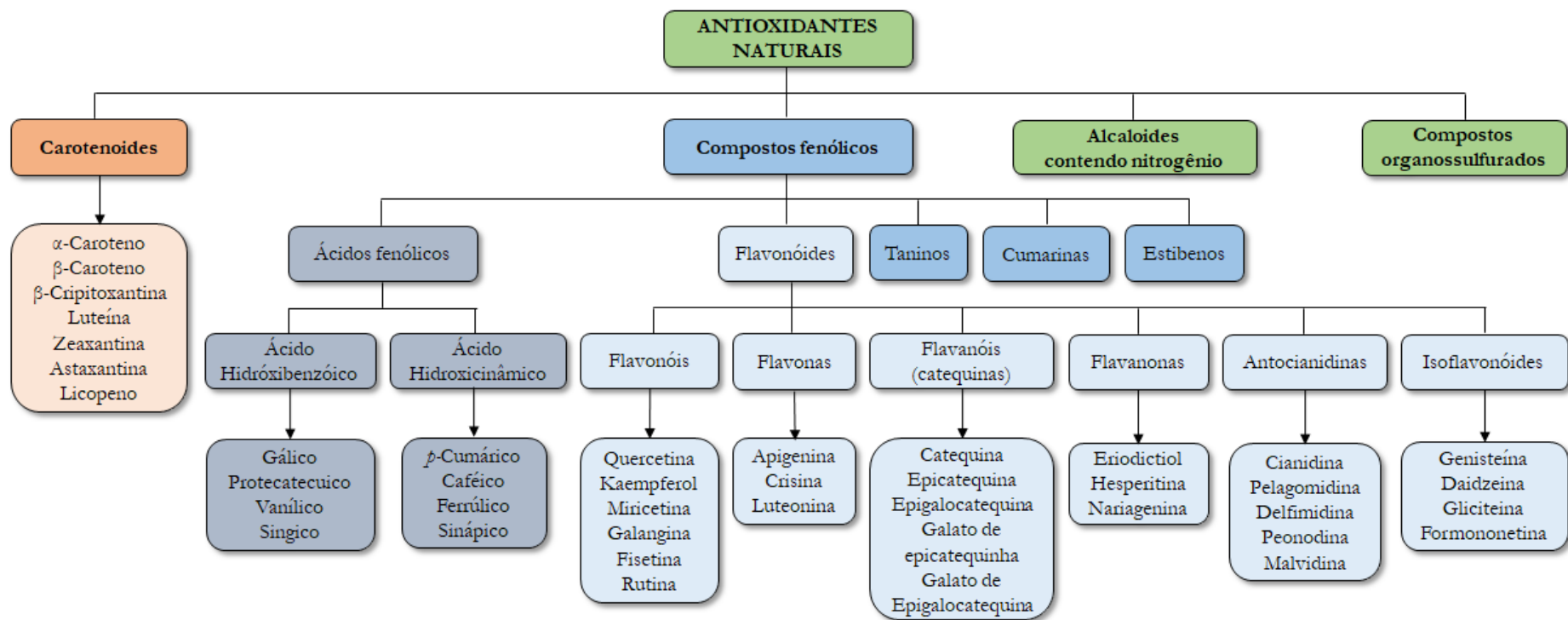
succínico (E363), ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) (385), extratos de alecrim (E392) (Carocho et al., 2018).

O emprego de antioxidantes sintéticos se tornou muito popular nas indústrias alimentícia, médica, agrícola e farmacêutica. No entanto, diversos estudos demonstram a grande toxicidade de alguns destes compostos. Por este motivo, surge a necessidade cada vez maior de desenvolver metodologias de extração e purificação e estabilização visando à obtenção e utilização de antioxidantes naturais, especialmente de fontes vegetais (Júnior et al., 2019; Shahet al., 2014; Wu et al., 2019).

A Figura 1 esboça a classificação dos antioxidantes naturais e os principais subgrupos de compostos com propriedades antioxidantes.

Atualmente a literatura lista diversas fontes naturais emergentes de antioxidantes que podem ser usadas como aditivos alimentares. Os produtos cárneos processados são exemplos de alimentos que utilizam uma grande quantidade de aditivos alimentares, ligados principalmente à conservação, sendo a grande maioria sintético, como nitritos e nitratos. Decorrentes a isso, muitos estudos buscando novas fontes de antioxidantes naturais foram realizados. A Tabela 1 lista algumas fontes de antioxidantes naturais oriundas de frutos exóticos usadas para estes produtos com antioxidantes. É notável que as fontes vegetais e os subprodutos vegetais ou mesmo resíduos industriais são os mais estudados, onde é possível recuperar produtos com alto valor agregado em comparação aos que antes seriam descartados.

As matrizes vegetais são fontes em destaque para obtenção de antioxidantes naturais. Mesmo não sendo uma fonte inovadora de fitoquímicos, um trabalho realizado com uvas verdes se mostrou interessante pois, além de usar um rejeito industrial, o método de extração utilizava o extrato diluído em água destilada, centrifugado e eluído por uma membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  para separação dos antioxidantes. Essa separação dos compostos resultou em uma fonte satisfatória para obtenção de polifenóis com boa ação antioxidante em matrizes alimentares proteicas (Bucalossi et al., 2020).



**Figura 1.** Fluxograma das classes dos antioxidantes naturais e os principais subgrupos de compostos com propriedades antioxidantes. Fonte: Adaptado de Liu (2004), Rojas e Buitrago (2019), Vuolo et al. (2019).

**Tabela 3.** Fontes emergentes de antioxidantes naturais usadas para produtos cárneos. Fonte: os autores.

| Fonte   | Aplicação alimentar  | Referência               |
|---|--|--------------------------|
| Aspargos ( <i>Asparagus racemosus</i> )   | Utilização do aginato de cálcio extraídos de aspargos para o desenvolvimento de um novo filme comestível.  | Nooret et al., (2018)    |
| Madeira de carvalho   | Utilização de extratos pressurizados de madeira de carvalho como conservante natural de rissóis de porco em comparação com o uso de ascorbato de sódio como conservante sintético.             | Soriano et al. (2018)    |
| Extrato de orégano ( <i>Origanum vulgare</i> )  | Substituição do eritorbato de sódio pelo extrato de orégano nas concentrações de em hambúrguer de cordeiro.  | Fernandes et al. (2017)  |
| Polissacarídeos isolados do subproduto casca externa de pistache ( <i>Pistacia vera</i> L.) | Testar a adição de polissacarídeo extraídos da casca de pistache em formulações de carne moída e comparar com a adição de antioxidante sintético (hidroxitolueno butilado-BHT).                | Hamed et al. (2020)      |
| Águas residuais (AWW) da prensa a frio do abacate.  | Comparação de formulações de linguiça de porco adicionadas do pó da água residual seco por pulverização a 160 ° C (AWW) com lotes acrescidos de eritorbato de sódio (E316).                    | Permal et al. (2020)     |
| Erva Beldroega ( <i>Suculenta, Portulaca oleracea</i> L.)                                   | Testar adição do extrato da erva (POE) em amostra de carne de porco, e comparar a uma formulação sem conservante e outra com adição do antioxidante sintético BHA (hidroxil anisole butilado). | Fan et al. (2019)        |
| Extratos de sálvia ( <i>Salvia officinalis</i> L.)  | Testar os benefícios da adição de extratos de sálvia, tanto etanólicos quando aquosos, além de óleo essencial de sálvia em amostra de carne de frango mecanicamente separadas.                 | Cegielka et al. (2019)   |
| Inflorescência da banana  | Extrato obtidos de folhas masculinas foi o selecionado para ser usado em formulações de embutidos.   | Rodrigues et al. (2020a) |
| Resíduos da indústria de Romã   | Investigado efeito da inclusão de subproduto de romã, como cascas, sementes e membranas, na dieta de cordeiro em relação a estabilidade oxidativa da carne.                                    | Natalello et al. (2020)  |
| Extrato de polifenóis de folhas de eucalipto (EPE)  | Avaliar a atividade antioxidante da EPE <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> e avaliar seu efeito na qualidade da carne de frango.   | Li et al. (2020)         |

Outras matrizes inovadoras e abundante são as árvores, que podem ser grandes fontes de antioxidantes. A partir disto, foi extraído e caracterizado o extrato obtido da árvore oriental *Hovenia dulcis* Thunberg, demonstrando que esta possui altos níveis de catequinas ( $157,18 \pm 34,34$  mg/100 g peso seco) e outros compostos fenólicos responsáveis pelas propriedades antioxidantes (De Biaggi et al., 2020). Outra árvore bastante estudada é a *Moringa oleifera* Lam., conhecida como árvore da vida, que apresenta uma grande gama de estudos sobre todas as partes que a constitui. As folhas possuem polifenóis (35,19 mg/g de folha seca), sendo os antioxidantes pertencentes ao grupo dos flavonóides, como kempferol, rutina e quercetina os compostos antioxidantes mais abundantes dessa matriz vegetal (Rocchetti et al., 2019).

A alta quantidade de compostos bioativos presentes nos coprodutos de frutas pode ser utilizada como aditivo alimentar natural, principalmente considerando que os resíduos agroindustriais são ricos em fitoquímicos. A cereja da cornalina (*Cornus mas* L.), muito utilizada como alimento na Europa, demonstrou ser uma fonte considerável de vitamina C (48-108 mg/100 g), ácido málico (104-375 mg/100 g) e polifenóis totais (158-591 mg EAG/100 g) (Martinović; Cavoski, 2020).

Nos últimos anos, os chamados frutos exóticos têm se destacado como fontes emergentes de moléculas antioxidantes. No Brasil, um exemplo importante é o camu-camu (*Myrciaria dúbia* - H.B.K.) Mcvaugh) uma fruta economicamente relevante para a região amazônica (Conceição et al., 2019). Foi verificado que a mesma apresenta alto conteúdo de ácido ascórbico ( $1882 \pm 43,2$  mg/100 g de fruta), ainda mais expressivo do que os apresentados pela acerola e jabuticaba, conhecidas por serem excelentes fontes de vitamina C (Rodrigues et al., 2020b).

Ainda para camu-camu, ao investigar a semente deste fruto, que é comumente descartada pela indústria de processamento de polpas, verificou um teor de compostos fenólicos totais de 43,6 g de EAG/100 g de extrato, sendo os flavonóides (vescalagina, castalagina, eepicatequina) a classe de compostos bioativos predominante (Fidelis et al., 2020).

O polissacarídeo extraído do bagaço da fruta guavira (*Campomanesia adamantium*), considerado um resíduo agroindustrial, foi testado como agente antioxidante em farinha. A adição do bagaço na concentração de 50 µg/mL promoveu uma eliminação de 67,4% de radicais livres em um ensaio de capacidade antioxidante equivalente em trolox (Schneider et al., 2020). Outra baga exótica, a jabuticaba da espécie (*Plinia trunciflora* -O. Berg, Kausel) têm se destacado como fonte promissora de antocianinas bioativas. O fruto cultivado na Sicília, Itália, apresentou um conteúdo fenólico total de 1201,05 mg EAG/100 g de fruto, sendo as antocianinas os compostos majoritários. O teste de atividade antioxidante celular mostrou que o extrato hidroalcolico da

casca de jabuticaba, apto para utilização em alimentos, impediu a peroxidação lipídica em células HepG2 com maior eficácia do que frutas mais conhecidas como romã, amora, framboesa e mirtilo (Mannino et al., 2020).

Mais recentemente, as flores comestíveis estão recebendo um interesse renovado como fontes de moléculas bioativas. Um trabalho bastante interessante demonstrou o poder antioxidante de diversas flores tipicamente brasileiras, como *Amaranthus hypochondriacus*, *Tropaeolum majus*, *Tropaeolum majus* e *Spilanthes oleracea* L., detectando em todas as amostras a presença dos ácidos fenólicos *p*-carmárico e ferúlico, além do flavonoide kaempferol (Barros et al., 2020).

As flores das espécies *Hibiscus rosa-sinensis* L. e *Hibiscus syriacus* L., da família *Malvaceae*, além de muito usados na área ornamental e gastronômica, vêm ganhando espaço como flores comestíveis não convencionais, uma alternativa para alimentação natural. Decorrente a isso, muitos estudos são realizados com a intenção de identificar e extrair compostos antioxidantes dessa flor e, há o relato de muitos compostos pertencentes ao grupo dos flavonóides em quantidades consideráveis em suas flores (Rengarajan et al., 2020).

## **FONTES NATURAIS PARA OBTENÇÃO DE AGENTES DE CORPO**

Outros aditivos alimentares muito importantes são os responsáveis pelas características de textura e palato. Os atributos reológicos são um dos aspectos de qualidade mais relevantes nos produtos alimentícios, não apenas pela aparência física (e.g. criando textura desejada ou impedindo os fenômenos de separação de fases durante o armazenamento), mas também em termos de percepção sensorial, como a sensação na boca de um alimento, durante o seu consumo.

É notada uma diferenciação quando empregado o termo agente de corpo, onde quando usado, pode ser além de associado com mudança de textura do alimento, também com outras características, como por exemplo os polióis (monossacarídeos e dissacarídeos hidrogenados), que são utilizados também como adoçantes por possuírem dulçor bastante variável e baixa caloria, ou mesmo as algas, que em adição proporcionam um enriquecimento de fibras alimentares para o produto adicionado (Bernaerts et al., 2019).

Os polissacarídeos são os agentes de corpo mais conhecidos. Um exemplo deste aditivo são os amidos, podendo ser usados como agente espessante, ligante, adoçante e emulsificante. No entanto, o uso do amido apresenta limitações de estabilidade estrutural sob condições extremas de pH e cisalhamento, podendo sob estas condições sofrer retrogradação. Assim, a mistura com hidrocolóides, como goma arábica, goma guar, goma xantana, goma de alfarroba, gelatina e pectina é uma das maneiras de manipular as propriedades do amido (Mahmood et al., 2017).

Uma fonte emergente de agente de corpo são as microalgas, que além de poderem ser usada como um texturizante, devido a sua grande quantidade de biopolímeros estruturais, podem ainda agregar valor nutricional ao alimento, como, por exemplo, vitaminas, minerais, proteínas com aminoácidos essenciais, ácidos graxos poliinsaturados, antioxidantes e fibras alimentares (Bernaerts et al., 2019).

As cianobactérias, como a spirulina, também conhecidas como algas verde-azuladas são uma das principais tendências da indústria de alimentos. Com aproximadamente 70% do seu peso seco composto por proteínas, essa microalga também é uma fonte rica de outros compostos de alto valor agregado, como clorofilas, carotenóides e ficobiliproteínas (Lafarga et al., 2020). Devido a sua disponibilidade de biopolímeros estruturais, a spirulina é usada como agente de corpo, além de promover a melhora nutricional dos alimentos em que ela é adicionada (Bernaerts et al., 2019; Lafarga et al., 2020).

Outra fonte bastante inovadora de biopolímeros estruturais são as flores. A calêndula (*Calendula officinalis*), conhecida como margarida, usada para retirada de óleo essencial e na indústria de pigmentos naturais, pode ser usada para retirada de polissacarídeos com propriedades viscoelásticas e com alta estabilidade térmica (Slavov et al., 2020)

A celulose bacteriana, considerada um polissacarídeo puro que pode ser obtido a partir da fermentação do vinagre, possui ótimas propriedades em comparação a celulose derivada de plantas, incluindo alta capacidade de retenção de água, alta área superficial, propriedades reológicas e biocompatibilidade (Lin et al., 2020).

Sendo assim, essa celulose pode ser usada como novas emulsões *Pickering* de grau alimentício (emulsões estabilizadas por um agente sólido que diminui a tensão superficial, fazendo com que a emulsão seja mais estável), com grande potencial para fornecer substâncias bioativas lipofílicas para indústria de alimentos.

Cascas de árvores também podem ser fontes de gomas alimentícias usadas como estabilizantes, espessantes, emulsificantes e auxiliares de formulação. Árvores bastante encontradas no cerrado, como *Cochlospermum gossypium* e outras espécies de *Cochlospermum* pertencentes à família *Bixaceae*, produzem um polissacarídeo natural denominada kondagogu (KG) que não apresentam nenhuma toxicidade, podendo então ser usadas como aditivos alimentares (Puskuri et al., 2017).

Levando em conta a grande produção de resíduos ricos em nutrientes (atualmente a agricultura global produz por ano cinco bilhões de toneladas métricas de biomassa residual), os biopolímeros estruturais com perspectivas de aplicabilidade em matrizes alimentares podem ser

obtidos da indústria de beneficiamento da fruta banana através, por exemplo, a extração de nanopolímeros da inflorescência da banana ou mesmo emulsificantes retirados dos rejeitos oriundos da indústria de beneficiamento da azeitona (indústria de azeite) (Alzate-Arbeláez et al., 2019; Bharathiraja et al., 2017; Koliastasi et al., 2020).

## **FONTES NATURAIS PARA OBTENÇÃO DE AROMA**

O aroma pode ser caracterizado como uma percepção quimiossensorial captada por nossos receptores sensoriais. Os responsáveis por estas sensações, de dar ou reforçar o aroma, são um vasto grupo de substâncias ou mistura de substâncias orgânicas com propriedades aromáticas, das quais podemos citar os alcanos e alcenos de cadeia curta (com ou sem oxigênio, nitrogênio ou enxofre), álcoois, ésteres, cetonas e ácidos orgânicos. Estas substâncias voláteis são percebidas pelos receptores de odor do sistema olfativo. Dentre estes compostos químicos, tem-se grande destaque a classe dos terpenos, que são metabólitos secundários produtos do metabolismo que estão distribuídos de forma abundante pela natureza e são responsáveis por características odoríferas em plantas, frutas, fungos e animais (Castro-Muñoz, 2019). Vale ressaltar que estes compostos não estão associados a propriedades nutricionais dos alimentos, mas sim, a características sensoriais.

Buscando adequação ao mercado consumidor atual, que tem demonstrado um crescente interesse em produtos naturais, a indústria de alimentos teve de buscar meios para atender rapidamente a esta nova demanda, investindo em novas tecnologias, formulações, bem como na busca por ingredientes de origem natural como alternativa de substituição aos ingredientes sintéticos, dentre outras estratégias. Isto fez com que, nas últimas décadas, houvesse uma escassez significativa de várias fontes naturais, a exemplo da baunilha e hortelã pimenta (Dunkel et al., 2014).

A substituição de aromatizante sintético pelos naturais na maioria dos casos se tornou um obstáculo. Houve a necessidade do desenvolvimento de técnicas “verdes” ou “mais ecológica” para biossíntese destas moléculas, bem como a descoberta de outras fontes naturais de aromas. É provável que a melhor opção para recuperação destes compostos, a partir de fontes naturais, seja a extração e purificação e atualmente para tal fim, várias técnicas já foram propostas. No entanto, a recuperação destes compostos não é uma tarefa fácil, visto que devido a sua instabilidade, durante as etapas de obtenção estes estão propensos a reações de hidrólise, oxidação e degradação térmica (Saifullah et al., 2019).

Buscando fornecer aromas de origem natural para suprir a demanda atual das indústrias de alimentos e cosméticos, pesquisadores trabalham para identificar, extrair e purificar aromas que



possam ser destinados a estes fins. Inúmeros trabalhos com objetivo de identificar fontes de aromas em produtos naturais foram publicados nos últimos anos e na maioria, são investigados frutos exóticos inteiros ou em partes, produtos vegetais diversos, como a pimenta, e resíduos agroindustriais, ervas aromáticas, cogumelos, dentre outros (Tabela 2). No entanto, explorar as novas fontes, obter e utilizar estes aromas não se torna uma tarefa fácil devido à grande quantidade e variedade destes compostos químicos e da maneira individual de como eles são percebidos pelos nossos sentidos.

Quando se obtém um extrato, há uma enorme complexidade química nas frações voláteis e uma grande diferença nas concentrações dos compostos. Estima-se que há aproximadamente 10.000 voláteis diferentes em alimentos (Dunkel et al., 2014), no entanto, como saber quais voláteis são responsáveis pelas principais características de odor daquela determinada matriz? Podemos pensar que a concentração é diretamente proporcional às características de odor?

Para responder a estas perguntas, pesquisadores começaram a investigar a contribuição dos odores individuais para um determinado aroma alimentar e propuseram o conceito de valores de atividade de odor (OAV) pela primeira vez em 1957. O OAV é definido como a razão entre a concentração de um único composto e o limiar de odor desse composto. Acredita-se que os compostos com OAVs maiores contribuam mais para as propriedades gerais de odor de uma substância (Sun et al., 2020).

Os fatores extrínsecos e intrínsecos ao cultivo dos produtos também influenciam diretamente nas características de aroma. A exemplo, pesquisadores que pesquisaram a composição volátil de quatro ervas aromáticas (endro, salsa, coentro e hortelã) colhidas em datas diferentes, demonstraram que há uma diferença na concentração de compostos voláteis quando colhidas em semanas diferentes e que para cada caso, deve-se conhecer o momento ideal da colheita para que a máxima concentração de voláteis possível possa ser obtida (El-Zaeddi et al., 2020).

**Tabela 4.** Fontes emergentes de possíveis aromatizantes naturais, identificação dos compostos e descrição das características de odor. Fonte: os autores.

| Fonte   | Principais compostos odoríferos identificados  | Descrição das características  | Referência                 |
|---|--|--|----------------------------|
| Pimenta Habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) var. Mayapan | $\delta$ -cadineno, 2-metilpropanoato de 3-metil-butil e 3,3-dimetilciclo-hexanol.   | Notas doces e frutadas.  | Cuevas-Glory et al. (2020) |
| Pimenta Habanero ( <i>Capsicum chinense</i> Jacq.) var. jaguar  | 2-metilpropanoato de 3-metilbutil e 2-metilbutanoato de 2-metilpropil, penitanoato de hexil e $\delta$ -cadineno.  | Pungente intenso devido principalmente ao 3,3-dimetilciclohexanol.                         | Cuevas-Glory et al. (2020) |
| Aroeira ( <i>Schinus molle</i> L.)                              | sabineno, 1-hexanol, óxido trans-linalol (furanóide), terpinen-4-ol, $\beta$ -eudesmol.  | Levemente pungente, frescor, amadeirado. Lembra uma pimenta preta mais sutil, sem o calor. | Giuffrida et al. (2020)    |
| <i>Semnostachya menglaensis</i> Tsui (S. menglaensis)           | 1-Octen-3-ol, 2-Propionil-1-pirrolina, 2-Acetil-3,4,5,6-tetra-hidropiridina, 2-Propionil-3,4,5,6-tetra-hidropiridina, 2-Propionyl-1,4,5,6-tetra-hidropiridina e linalol. | Aroma que lembra arroz basmati, pão e pipoca.  | He et al. (2020)           |

|  |   |   |   |                       |
|--|---|---|---|-----------------------|
| Semente de rambutan ( <i>Nephelium lappaceum</i> L.)   | ácido dimetilsilanodiol, furfural, 5-metil-2-furancarboxaldeído, trimetilpirazina e tetrametilpirazina. | 3-metilbutanóico, 2-furanmetanol, amêndoas, nozes e café. | Aroma semelhante ao de cacau em pó. Aroma presente de caramelo, cozidos, amadeirados, amêndoas, nozes e café. | Jahurul et al. (2020) |
| Omija ( <i>Schisandra chinensis</i> Baillon)           | 4-terpineol e $\alpha$ -terpineol.  |   | Aroma picante e de madeira úmida.   | Kim et al. (2020)     |
| Cinza espinhosa alada ( <i>Zantboxylum armatum</i> DC) | -(+)-linalol, $\beta$ -mirceno, citronelol, (+)-limoneno e geraniol.                                    |   | Notas de especiarias amadeiradas, cítricas, doces e florais.  | Liu et al. (2020)     |

A estabilidade do odor e sabor com um nível adequado de força também é uma grande preocupação dos processadores de alimentos. Isso ocorre por possuir uma forte relação com a qualidade e a aceitabilidade das matrizes alimentares. Como já abordado anteriormente, as moléculas responsáveis por conferir aroma são voláteis e muito sensíveis a condições como ar, calor, luz e umidade. Com o objetivo de reduzir o nível de degradação e preservar a originalidade do sabor e aroma, ingredientes voláteis pré-encapsulados podem ser usados em alimentos e bebidas e para isso, metodologias de micro e nano encapsulação são empregadas.

## **FONTES NATURAIS PARA OBTENÇÃO DE CORANTES**

A cor é um dos atributos mais relevantes na hora de se escolher um alimento. A coloração, do ponto de vista sensorial, pode estimular a compra/consumo ou gerar uma redução ou aumento da aceitação deste produto pelo consumidor. Corantes são substâncias capazes de conferir cor onde forem adicionados. Os alimentos, de maneira geral, possuem suas próprias substâncias corantes que são responsáveis por atribuir colorações características. No entanto, fatores extrínsecos como luz, temperatura, oxigenação, dentre outros, podem alterar a estabilidade destes compostos durante processamento ou armazenamento causando alterações na coloração (Corrêa et al., 2019). Como estratégia a uma melhor aceitação sensorial de seus produtos, a indústria emprega corantes naturais ou artificiais na formulação de seus produtos.

Embora os pigmentos artificiais apresentem estabilidade superior, um portfólio variado de cores e sejam comercialmente atrativos, o fato de serem obtidos por síntese química e não serem encontrados na natureza, seu consumo pode conferir efeitos negativos a saúde humana como déficit de atenção, hiperatividade, irritabilidade, sono perturbado e agressividade em crianças, alergias e até respostas cancerígenas. Essas características, conferem uma não aceitação e redução de consumo (Albuquerque et al., 2020).

Deste modo, a substituição dos corantes artificiais por naturais se tornou um grande desafio para a indústria alimentícia. Os pigmentos naturais podem ser obtidos de tecidos vegetais, células animais, metabolismo microbiano ou fontes minerais. A busca por pigmentos oriundos destas fontes, a exemplo das antocianinas, carotenóides, betalainas, clorofilas, dentre outros, todas muito abundantes em matrizes vegetais, tiveram um número expressivo de pesquisas nos últimos 5 anos, demonstrando desta forma, o crescente interesse dos pesquisadores e indústria por novas fontes de pigmentos naturais (Corrêa et al., 2019).

**Tabela 5.** Fontes emergentes para extração e recuperação de corantes. Fonte: os autores.

| Fontes  | Extração/purificação   | Compostos e Coloração   | Referências               |
|---|--|---|---------------------------|
| Resíduos industriais de casca de tomate               | Pré-tratamento com impulsos elétricos antes de uma extração sólido-líquido utilizando solvestes “verdes”.  | Carotenóides com cor característica laranja, amarela e vermelha.                          | Pataro et al. (2020)      |
| Tomates maduros não vendidos                          | Extração enzimática.   | Carotenóides com cor característica laranja, amarela e vermelha.                          | Lombardelli et al. (2020) |
| Spirulina ( <i>Arthrospira platensis</i> )            | A ficocianina de <i>A. platensis</i> foi purificada (precipitação, centrifugação e diafiltração) e tratada termicamente em um processo contínuo e escalável.                         | Ficociana de coloração azul natural.  | Böcker et al. (2020)      |
| Alga marinha marrom ( <i>Saccorhiza polyschides</i> ) | A clorofila a foi encontrada como o pigmento predominante na biomassa, com um máximo extraído com 90% de acetona. Carotenóides e fucoxantina também podem ser extraídos com metanol. | Clorofila com coloração esverdeada, carotenoides e fucoxantina com coloração avermelhada. | Pardilhó et al. (2020)    |
| Ahipa ou inhame andino ( <i>Pachyrhizus abipa</i> )   | Extrato de antocianinas com potencial para pigmentação natural, no entanto, apresentando instabilidade dos pigmentos ao aumento do pH.   | Antocianinas com coloração púrpura, lilás ou roxo.  | Dini et al. (2020)        |
| Amora ( <i>Rubus ulmifolius</i> Schott)               | Extração de antocianinas usando calor com etanol acidificado com ácido cítrico (pH 2,5) com condições otimizadas (20 min, 56,87 °C e etanol 46,07%). Aplicação                       | Antocianinas com intensa vermelho-bordô.  | Silva et al. (2019)       |

dos pigmentos a rosquinhas que apresentaram coloração rosa/lilás estável após o cozimento.

|  |   |   |                         |
|--|---|---|-------------------------|
| Arroz integral ( <i>Oryza nivara</i> )   | Extração por maceração utilizando metanol acidificado e concentração do extrato usando temperatura e vácuo.   | Antocianinas com coloração lilás.             | Anggraeni et al. (2019) |
| Cogumelos boletus ( <i>Boletus edulis</i> )  | Extrato pigmentado obtido por extração hidroalcolica em ultrassom. Pigmento estável em baixas temperaturas e pH na faixa (3-5), porém instável a luz.   | Pigmento rosa.                                | Guo et al. (2020)       |
| Casca de limão ( <i>Citrus limonum</i> ), cenoura ( <i>Daucus carota</i> ) e folhas de acelga ( <i>Beta vulgaris</i> ) | Extração e isolamento de carotenoides com melhor resultado para o solvente isopropanol a 60°C por 3h e separação com éter dietílico: metanol (2:1), respectivamente. O pigmento recuperado foi aplicado na fabricação de doces. | Luteína com pigmentação alaranjada e amarela. | Al-Ali et al. (2020)    |

Observa-se que a maioria dos estudos se concentram em matrizes vegetais, como frutas, legumes, algas e resíduos agroindustriais. Podemos ver na Tabela 3 algumas das fontes de obtenção, a forma e os parâmetros de obtenção, bem como os compostos obtidos com a coloração características.

Dentre os principais corantes naturais, tem-se as antocianinas que, são flavonoides encontrados em abundância em matrizes vegetais. Sua estrutura química (diferenças no número de grupos hidroxila e metoxila presentes na estrutura) é um fator de diferenciação das várias antocianinas presentes na natureza e interferem diretamente na sua coloração e estabilidade. Quanto mais hidroxilada, tende-se a coloração azul e quanto mais metilada, tende-se a coloração vermelha e compostos mais estáveis. Existem mais de 600 tipos de antocianinas presentes na natureza, sendo as mais comuns cianidina, pelargonidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina. A estabilidade das antocianinas obtidas de fontes naturais é muito importante e um fator limitante para sua utilização na indústria de alimentos. A forma mais estável das antocianinas é em baixos valores de pH (1-2) com coloração vermelha. Conforme há elevação do pH do meio, a estabilidade é alterada e sua coloração muda (incolor 4-5, azul 6-6,5, amarelo pálido 7-9 e azul escura superior a 9). As antocianinas geralmente são estáveis a presença de luz, oxigênio e a altas temperaturas, no entanto, quando superior a 100 °C podem ocasionar sua degradação e limitar sua aplicação a alimentos que necessitem de tratamento térmico com temperaturas elevadas (Albuquerque et al., 2020; Conceição et al., 2019).

As betalainas que, são pigmentos compostos por uma estrutura nuclear nitrogenada, formada a partir de ácido betalâmico. Atualmente, mais de 75 betalainas já foram descritas em tecidos vegetais. São solúveis em água, o que facilita sua aplicação na indústria de alimentos. São divididas em betacianina (responsáveis pela coloração vermelho-violeta) e betaxantina (responsáveis pela coloração amarela). Betalainas podem ser facilmente encontradas em beterraba, diversos frutos de cactos, pitaya, dentre outros. Em relação a sua estabilidade, são estáveis a uma faixa de pH 3-7, sendo as betaxantinas mais estáveis em pH neutro e as betacianinas em pH ácido. Abaixo desta faixa, há instabilidade e alteração da cor para azul-violeta, já acima, a mudança ocorre para marrom-amarelado. Também são instáveis a luz, oxigenação e presença metais e temperatura, por isso, indica-se adicioná-las aos alimentos após o tratamento térmico (Albuquerque et al., 2020; Corrêa et al., 2019).

Os Carotenoides que, são pigmentos lipossolúveis que nos vegetais, são responsáveis por conferir coloração amarela, laranja ou vermelha. Mais de 1000 carotenóides já foram descritos, mas apenas 40-50 tipos são consumidos na dieta humana e os principais encontrados nos alimentos

são:  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina, licopeno, luteína e zeaxantina e dentre algumas fontes, podemos citar: tomate, buriti, pitanga, tucum, pimenta, abóbora, uva, resíduos de manga e pêssego, dentre outros. Quando comparados com outras classes de pigmentos, os carotenoides possuem maior estabilidade ao pH e suas alterações, no entanto, são altamente suscetíveis a alterações de cor devido a oxidação na presença de luz, oxigênio e temperatura, limitando por este motivo, sua aplicação em alimentos (Albuquerque et al., 2020; Corrêa et al., 2019). As clorofilas, pigmento mais abundante do reino vegetal. São encontradas em cinco classes, diferenciando-se em suas estruturas químicas, e nomeadas de clorofila A, B, C, D e E, sendo a (azul esverdeada) e b (verde amarelada) as mais comuns em vegetais e frutas e geralmente são encontradas juntas na proporção 3:1. A principal fonte de obtenção são as folhas, no entanto, também ocorrem em frutos antes do processo de maturação. As algas também estão sendo exploradas como fonte. O pH ácido e a alta temperatura são fatores cruciais para a estabilidade das clorofilas, podendo ocorrer alteração da cor verde para o marrom (Albuquerque et al., 2020; Corrêa et al., 2019).

Até o momento, muitas pesquisas publicadas relacionam a obtenção de corantes naturais de alimentos. O processo comumente utilizado para obter corantes naturais consiste em várias etapas básicas: extração, filtração, concentração e secagem. Para extração, as formas mais utilizadas costumam empregar altas temperaturas e solventes tóxicos, no entanto, técnicas empregando ultrassom, pré-tratamentos solventes biosolventes estão sendo investigadas (Tabela 3). Para secagem, podemos citar duas técnicas importantes: atomização (*spray-drying*) e liofilização (*freeze-drying*).

Geralmente, a secagem por atomização tem o inconveniente de utilizar altas temperaturas, o que no caso de alguns tipos de pigmentos descritos anteriormente pode ser indesejável. Também, a utilização de alguns aditivos para estabilização no processo de secagem. Já a liofilização, é atrativa por produzir produtos de boa qualidade, inclusive sem a adição de estabilizadores de cor. No entanto, limitações estão associadas a essa técnica, incluindo os longos tempos de secagem e os altos custos operacionais.

Por esta razão, uma atenção crescente está sendo dedicada à técnica de secagem por congelamento por spray (*spray-freeze-drying*). Algumas tentativas foram feitas para usar essa técnica em materiais biológicos (e.g. proteína de soro de leite, albumina de ovo, café) e podem ser consideradas corantes naturais (Różyło, 2020).



## COMPOSTOS BIOATIVOS E A SUPLEMENTAÇÃO EM ALIMENTOS

Nas últimas décadas, ficou claro que os alimentos não são apenas ligados a uma fonte de energia e nutrição e isso resultou no aumento considerável da classe dos consumidores que buscam alimentos funcionais suplementados com compostos biologicamente ativos capazes de auxiliar na melhora imunológica do corpo humano. Além disso, o papel dos alimentos excede a muitas outras funções que contribuem para a saúde e o bem-estar, como por exemplo, efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e anticarcinogênicos. Esses compostos fitoterápicos são diferentes dos nutrientes, pois não são essenciais a estrutura dos alimentos e, atualmente, não existem valores de ingestão diária recomendados (Chugh; Kamal-Eldin, 2020; Ghosh et al., 2019).

A incorporação direta de compostos bioativos e nutracêuticos em produtos alimentícios deve ser muito bem estudada, já que, embora seja possível importar a ideia de ação desses compostos bioativos através das ciências farmacêuticas para a ciência dos alimentos, a questão da interação desse composto com a matriz alimentar é bastante singular para cada alimento (Mohammadian et al., 2020). Desta forma, adicionar um determinado composto ou extrato que tenha relato científico de determinada atividade biológica não necessariamente fará com o a ingestão do alimento proporcione tal benefício.

Para isso, os estudos relacionam desde a sua solubilidade, estabilidade dos compostos ativos durante a vida de prateleira do alimento, liberação sob digestão simulada, que depende de sua presença livre ou conjugada nas matrizes alimentares e, finalmente biodisponibilidade e bioeficácia *in vivo*, em animais e/ou diretamente em humanos, para evitar estudos com animais sempre que possível. Por fim, mas não menos importante, deve-se dar atenção as mudanças sensoriais relacionadas à qualidade desse produto suplementado, como efeitos negativos na cor, textura, sabor e aparência (Bento-Silva et al., 2020; Mohammadian et al., 2020; Nowak et al., 2019).

Ainda, deve se considerar que as biomoléculas, antes da extração, estão dispersas em um meio complexo, podendo se comportar de forma sinérgica e, em muitos casos, estabilizadas pela própria mistura de elementos presentes em seu ambiente natural. No entanto, após a sua extração e isolamento, sua atividade fisiológica pode ser afetada, reduzida ou até mesmo completamente inativada. Para evitar isto, novas tecnologias podem ser propostas para reduzir ou até impedir a perda da funcionalidade desses compostos. Algumas técnicas, como a nanotecnologia podem ser usadas de forma promissora a fim de tornar os compostos bioativos mais estáveis, resolvendo suas restrições e aumentando sua aplicação industrial (Giaconia et al., 2020).

## EFEITOS BIOLÓGICOS

O conhecimento sobre o uso potencial de alimentos ou suplementos alimentares para o manejo das principais doenças é útil. Muitos candidatos a aditivos alimentares obtidos de fontes naturais e que possuem funções relacionadas às características sensoriais, como os corantes, aromatizantes e agentes de corpo, podem desempenhar outras funções importantes que os configure como agentes nutracêuticos. Pesquisas, ao extrair e/ou purificar estes compostos, estudam também a sua biatividade *in vitro* e *in vivo*. A Tabela 4 demonstra os produtos naturais, a sua possível função e a atividade biológica encontrada.

Os compostos aromáticos, moléculas responsáveis pelo aroma de inúmeras substâncias, também apresentam propriedades terapêuticas. Componentes pungentes nas plantas ativam as membranas mucosas do trato respiratório aumentando a secreção e ajudam a combater microrganismos, bem como remover agentes indesejáveis. Muitos aromas também podem se comportar como expectorantes, descongestionantes, antitússicos, antimicrobianos e bons para doenças respiratórias. Compostos com mentol (em hortelã) e timol (encontrado em tomilho) são poderosos antimicrobianos, anti-inflamatórios e antioxidantes (Lim; Mohamed, 2016; Van Vuuren; de Rapper, 2020).

Além disso, a aromaterapia vem ganhando destaque no cenário dos aromas e óleos essenciais. Trata-se de uma técnica natural que consiste na inalação de óleos essenciais para causar o efeito terapêutico desejado. A técnica utiliza aromas e seus compostos liberados por óleos essenciais para tratamento de alguns sintomas como ansiedade, depressão, insônia, dentre outros, bem como, promoção de bem-estar e fortalecimento do sistema autoimune (Van Vuuren; de Rapper, 2020).

Os pigmentos de origem natural, além de suas propriedades corantes, também estão relacionados a benefícios terapêuticos. A exemplo, as antocianinas ganharam destaque por estarem relacionadas ao controle do diabetes, prevenção de doenças cardiovasculares e prevenção e tratamento de distúrbios neurológicos. Além disto, sabe-se que os carotenóides têm capacidade antioxidante e como precursores da vitamina A (Albuquerque et al., 2020). Ainda, existem inúmeras evidências experimentais que descrevem o papel protetor dos ácidos fenólicos em doenças degenerativas e cardiovasculares, câncer, diabetes, inflamação, dentre outras. No entanto, a intensidade das atividades biológicas mostradas depende principalmente de sua biodisponibilidade, responsável pela proporção de sua absorção, digestão e metabolismo após a entrada no sistema de circulação. O ácido gálico é o ácido hidroxibenzóico mais estudado para absorção e metabolismo e confirma sua grande capacidade de absorção (Kumar; Goel, 2019).

**Tabela 6.** Fontes naturais, compostos individuais ou majoritários e seus benefícios fisiológicos reportados. Fonte: os autores.

| Fontes   | Compostos  | Efeito biológico  | Referência                |
|--|--|---|---------------------------|
| Louro ( <i>Laurus nobilis</i> L.), corniso pagode ( <i>Cornus alternifolia</i> L.), amoreira ( <i>Morus atropurpurea</i> Roxb.), juçara ( <i>Euterpe edulis</i> M.) e <i>Haskap berries</i> ( <i>Lonicera caerulea</i> L.)                                 | Cianidina 3-O-glucosídeo, a principal antocianina em várias frutas | Anti-obesidade, anti-inflamatórias, antioxidantes e antitumorais.   | Albuquerque et al. (2020) |
| Pitaya ( <i>Hylocereus polyrhizus</i> ), <i>Opuntia engelmannii</i> Salm-Dyck ex Engelm, <i>Stenocereus stellatus</i> vermelho (Pfeiffer) Riccobono, <i>Stenocereus pruinosus</i> Laranja (Otto) Buxb., <i>Stenocereus pruinosus</i> vermelho (Otto) Buxb. | Fonte de betalaínas (com maior componente a indicaxantina)         | Redução da peroxidação lipídica e a oxidação de proteínas e atividade anti-inflamatória   |                           |
| Pitanga ( <i>Eugenia uniflora</i> L.), Manga ( <i>Mangifera indica</i> L.), Mangostão ( <i>Garcinia mangostana</i> L.), Mamão Papaya ( <i>Papaya Carica</i> L.), Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L)   | Licopeno   | Prevenção do câncer de próstata, mas também mostrou efeitos promissores em outras linhas de células tumorais, doenças cardiovasculares e outros distúrbios causados por estresse oxidativo. |                           |
| Laranja ( <i>Citrus nobilis</i> Lour), Pimenta ( <i>Capsicum annuum</i> L cv Orlando), Jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.), Salak ( <i>Salacca edulis</i> ), Buriti ( <i>Mauritia flexuosa</i> L.), Uva ( <i>Vitis vinifera</i> L.)               | $\beta$ -caroteno  | Potencial para reduzir doenças cardiovasculares e exibir efeitos anticâncer.  |                           |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p>Pistache (<i>Pistacia vera</i> L.), casca de limão (<i>Citrus limonum</i>), cenoura (<i>Daucus carota</i>), Folhas de acelga (<i>Beta vulgaris</i>) e laranja de calêndula (<i>Tagetes erecta</i> L.)</p>  | <p>Carotenoides como luteína e zeaxantina</p> | <p>Propriedades benéficas para problemas de visão, prevenindo a degeneração macular relacionada à idade (DMRI) e as cataratas.</p>   | <p>Al-Ali et al. (2020); Albuquerque et al. (2020); Kurniawan et al. (2019)</p> |
| <p>Frutos e folhas do gênero Citrus (limão, toranja, lima, tangerina, dentre outras).</p>   | <p>Limoneno</p>                               | <p>Efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes, antinociceptivos, anticâncer, antidiabéticos, anti-hiperalgésicos, antivirais e gastroprotetores, entre outros efeitos benéficos para a saúde.</p> | <p>Vieira et al. (2018)</p>   |
| <p>Citrus, eucalipto (<i>Eucalyptus dives</i>), alecrim (<i>Rosmarinus officinalis</i>) e Pinheiro (<i>Pinus sylvestris</i>)</p>  | <p>D-limoneno, pineno e eucaliptol</p>        | <p>Auxiliam na limpeza do o muco descongestivo dos pulmões de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica.</p>  | <p>Lim; Mohamed, (2016)</p>   |
| <p>Funcho (<i>Foeniculum vulgare</i>), Curcuma (<i>Curcuma domestica valetan</i>), Sândalo (<i>Santalum album</i>), <i>Cuscuta reflexa</i>, <i>Withania somnifera</i>, <i>Emblica officinalis</i>, manga (<i>Mangifera indica</i>), cenoura (<i>Daucus carota</i>), Melãozinho (<i>Momordica charantia</i>), Manjericão (<i>Ocimum sanctum</i>), <i>Psoralea corylifolia</i>, <i>Swertia chirayita</i>, erva moura (<i>Solanum nigrum</i>), Alcaçuz</p> | <p>Quercetina</p>                             | <p>Atividade antioxidante, antiviral, antimicrobiana, antiprotozoária, anticâncer, hepatoprotetoras e anti-hipertensivas e apresenta papel importante no tratamento da doença de Alzheimer.</p>  | <p>Batiha et al. (2020)</p>   |

---

*(Glycyrrhiza glabra)*, *Morua alba*, Chá-verde

*(Camellia sinensis)*

---

Algas verdes

Polissacarídeos de Imunomodulação, antibacterias, anti-hiperlipidemia, anti- Zhong et al.  
Enteromorpha (EPPs) tumoral, anti-câncer, anti-viral, propriedades anticoagulantes (2020)  
e regulam a microbiota intestinal.

---

## **METODOLOGIAS EMERGENTES PARA OBTENÇÃO E ESTABILIDADE DE ADITIVOS ALIMENTARES NATURAIS**

Uma consideração bastante pertinente relacionada à extração de aditivos está na inovação, não só com as fontes emergentes, mas quanto às metodologias de execução dessa etapa. É sabido que muitos dos compostos investigados apresentam certa instabilidade térmica e rápida degradação quando expostos em demasia à luz, além de possuírem uma ampla variedade de grupos químicos constituintes (Sharma et al., 2019).

Decorrente a essa preocupação, surgiram as metodologias de extração chamadas de não convencionais, como ultrassom, ultraturrax, e micro-ondas que basicamente se diferenciam das convencionais, como maceração e agitação, por se preocuparem com o tempo de exposição ou a não exposição da amostra durante o processo a variáveis que influenciam na desestabilização, por controlarem minuciosamente o tempo do processo de extração, além do emprego de solventes que podem produzir extratos aptos a serem utilizados em alimentos, sem toxicidade.

Em relação ao emprego de solventes orgânicos nas extrações, houve uma crescente preocupação em substituí-los por solventes considerados ‘verdes’, ou seja, com menor ou nenhuma toxicidade comprovada, não agressividade ao meio ambiente, dentre outros fatores. Os mais comuns são a água, fluidos supercríticos, líquidos iônicos (LIs) e também solventes eutéticos profundos (SEP) (Shabani et al., 2020).

Os mais inovadores, como os LIs, surgem como uma alternativa limpa, para quase todos os solventes, podendo ser empregados na sua forma puros ou em conjunto com outro solvente. Basicamente os líquidos iônicos são compostos de um cátion de amônio e fosfônio que tem a capacidade de formar pares iônicos ou complexos com os íons metálicos em matriz aquosa, obtendo alta eficiência e propriedades físico-químicas únicas, como pressão de vapor desprezível, alta estabilidade térmica e não inflamabilidade (Guleria et al., 2020).

Já os solventes SEP, tem a capacidade de dissolver compostos orgânicos, possuem custo reduzido além de baixa toxicidade. Esse solvente baseia-se na mistura de um ou mais pares que englobam um aceitador e um doador de ligação de hidrogênio que, em proporções molares apropriados, geram fortes interações intermoleculares. Essa mistura proporciona propriedades físicas favoráveis que se assemelham às dos líquidos iônicos, como baixo ponto de fusão, baixa volatilidade, alta viscosidade, alta tensão superficial e alta estabilidade térmica (Jiang et al., 2019; Lawal et al., 2019; Shabani et al., 2020).

Em relação a metodologias para obtenção de compostos, uma das técnicas modernas em alta está relacionada à extração pressurizada usando água quente com adição de dióxido de carbono supercrítico ( $H_2O+CO_2$  -SFE). Com essa técnica se resolvem os problemas relacionados à temperatura

empregada, que são moderadas, e o único solvente usado, o dióxido de carbono, é totalmente separado após a descompressão, ao final da extração (Rodrigues et al., 2020c). Esta técnica, e também a metodologia de extração por ultrassom e micro-ondas, representam uma grande parte das pesquisas atuais relacionadas a obtenção de antioxidantes e pigmentos.

Para obtenção e purificação de aromas, cita-se a utilização de métodos como extração líquido-líquido/sólido-líquido, absorção, adsorção, destilação, evaporação e pervaporação. Todas estas técnicas precisam da disponibilidade dos compostos em sistemas aquosos ou em solventes para que seja possível o processo de separação. A pervaporação tem chamado atenção por ser um método de membrana que utiliza barreira seletiva utilizando ou não temperatura, com capacidade de separação de solutos específicos como compostos aromáticos. Até então, mais de 70 compostos específicos (incluindo ésteres, cetonas, aldeídos, álcoois, hidrocarbonetos) já foram separados e, assim, recuperados seletivamente de diferentes fontes usando a metodologia (Castro-Muñoz, 2019).

Quanto a estabilidade dos aditivos alimentares naturais, sejam na forma de compostos isolados ou extratos, frequentemente durante a extração ou imediatamente após ela, muitos compostos começam a se degradar. Essa degradação pode ser causada por exposição a altas temperaturas, enzimas, produtos químicos ou mesmo à passagem do tempo (Seibert et al., 2019).

Ainda, os aditivos naturais têm sua eficácia alterada por processos industriais como pasteurização, esterilização, branqueamento, evaporação, extrusão, secagem, torrefação, cozimento, fritura, micro-ondas, aplicação de luz infravermelha e armazenamento (mesmo quando congelados). Entretanto, estas perdas podem ser minimizadas pelo uso de embalagens adequadas, como vácuo com gases inertes eliminadores de oxigênio (Gheonea et al., 2021).

Também neste sentido, a estratégia do encapsulamento em suas várias formas provou ser uma solução, embora com resultados limitados e difíceis de implementar em uma ampla variedade de gêneros alimentícios. A micro e nano encapsulação, que são técnicas empregadas, tem como princípio a criação de uma membrana externa aos compostos de interesse com o intuito de protegê-los. A diferença entre as técnicas baseia-se no tamanho da partícula formada (1–1000 nm para nanoencapsulação e 1–1000  $\mu\text{m}$  para microencapsulação).

Estes processos são eficazes visto que após encapsulados, os produtos finais podem ser um pó, uma pasta ou um líquido. Isso facilita a utilização pela indústria de alimentos por serem estáveis, fáceis de pesar, transportar e armazenar. Ainda, as capsulas preservam os compostos durante o processamento e armazenamento também ajudam a reter o sabor até o consumo (Saifullah et al., 2019). Bioencapsulação, microencapsulação e nanoencapsulação foram todos usados e parecem promissores em termos do que é esperado do ponto de vista da conservação de alimentos (Carocho et al., 2018).

Outras soluções, como alterações de pH, redução de água, embalagens opacas, entre outras, estão sendo utilizadas para diminuir o impacto sobre os aditivos, tornando-os necessários em menor quantidade para realizar os mesmos efeitos (Sharma et al., 2019).

## OS DESAFIOS PARA UTILIZAÇÃO DE NOVOS ADITIVOS DE ORIGEM NATURAL ESTUDOS DE TOXICIDADE

Como mencionado anteriormente, os aditivos alimentares são uma classe importante de ingredientes adicionados intencionalmente no processamento de alimentos, com a finalidade de conferir propriedades tecnológicas ao produto final (Carocho et al., 2018). Os estudos de toxicidade são fundamentais e necessários para garantir a segurança de um novo aditivo. Além disso, através destes estudos é possível estabelecer o nível máximo de aditivo que pode ser adicionado a diferentes produtos para garantir sua segurança ao consumidor (Jansen et al., 2020).

A toxicologia desempenha papel importante na utilização dos novos ingredientes de origem natural, visto que a informação toxicológica é o ponto central que determina o risco associado à substância química em questão. Consequentemente, a liberação destes compostos é realizada mediante a realização de estudos toxicológicos (Jansen et al., 2020).

Um estudo de toxicidade contempla o cumprimento de diretrizes e protocolos específicos estabelecidos por agências reguladoras nacionais e internacionais. É um processo minucioso, longo e complexo, que integra uma sequência de experimentos em laboratório. O *Joint Expert Committee on Food Additives* (JECFA), administrado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) e *World Health Organization* (WHO) é um grupo internacional responsável por avaliar a segurança dos aditivos alimentares.

A Comissão do *Codex Alimentarius*, também é um órgão conjunto da FAO/WHO, responsável por definir os níveis máximos de uso dos aditivos alimentares, baseados na ingestão diária aceitável (IDA), que é a quantidade de uma substância ingerida diariamente por um indivíduo que não induz risco considerável (Oga et al., 2014). A IDA é uma estimativa de responsabilidade do JECFA, que se aplica a nível mundial.

Os experimentos em laboratório constituem uma etapa fundamental do estudo toxicológico, sendo baseados em testes *in vitro* e *in vivo*. A seleção do método adequado depende da natureza da substância a ser testada. Outro ponto relevante é a seleção da dose a ser administrada nos testes. Estudos prévios sobre a substância em questão devem ser levados em consideração, bem como a exposição humana prevista, sua frequência e duração (WHO, 2009). Nenhum teste isolado pode fornecer uma prova completa da segurança dos novos aditivos, portanto, é recomendada a combinação de testes para garantir a segurança desses produtos (Olusegun; Olajire, 2015).



Dentre as organizações internacionais, a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) é reconhecida por fornecer guias para a condução de estudos toxicológicos (WHO, 2009).

No caso de substâncias alimentares, como os aditivos de origem natural, a grande maioria dos experimentos realizados é *in vivo*, isto é, utilizando animais como roedores (ratos e camundongos) ou não-roedores (cães). A substância a ser testada deve ser adicionada à dieta dos animais, atendendo aos requisitos nutricionais das espécies utilizadas no estudo. Geralmente a substância é administrada aos animais experimentais em três níveis de doses e o grupo controle: a) alta, com a intenção de produzir toxicidade; b) baixa, onde não se observa toxicidade; c) Intermediária, a fim de identificar os efeitos tóxicos mínimos; d) controle, que não recebe nenhuma dose da substância testada (WHO, 2009).

A seguir serão apresentados os principais testes toxicológicos realizados para um novo aditivo alimentar.

**Genotoxicidade:** O teste de toxicidade genética avalia os efeitos tóxicos no material genético da célula, sendo capaz de detectar destruição cromossômica e mutações genéticas ocasionadas pela substância investigada, podendo acarretar doenças hereditárias e câncer (Kumar et al., 2019; WHO, 2009). São conhecidos mais de 100 métodos de testes *in vitro* e *in vivo* com o objetivo de identificar todos os aspectos da toxicidade genética. Em geral, os testes são divididos em dois grupos: testes de toxicidade genética e testes de mutagenicidade. Os testes de toxicidade genética avaliam os tipos de danos ao DNA e suas respostas celulares. Os testes de adulto de DNA, síntese não programada de DNA e ensaio cometa são realizados *in vitro* e *in vivo* (WHO, 2009). Os testes de mutagenicidade determinam os danos genéticos e cromossômicos. Dentre os testes para a mutação gênica destacam-se o ensaio microbiano *in vitro* de mutação direta à resistência a um antimetabólito específico utilizando as bactérias *Salmonella typhimurium* e *Escherichia coli* (OECD, 1997a). Também são realizados testes *in vitro* de aberração cromossômica e micronúcleo com células de mamíferos e linfócitos humanos (OECD, 2010; OECD, 2016a). Finalmente, são avaliados os testes *in vivo*, por meio do ensaio de aberração cromossômica da medula óssea de mamíferos, ensaio do micronúcleo de eritrócitos de mamíferos e ensaio letal dominante para roedores (OECD, 2015; OECD, 2016b).

**Toxicidade na reprodução:** É utilizado para determinar o efeito da substância estudada no sistema reprodutivo feminino e masculino, a capacidade reprodutiva da prole e o efeito cumulativo na reprodução das gerações. É recomendada a realização do estudo reprodutivo por no mínimo duas gerações. Os testes são realizados *in vivo*, com roedores (Kumar et al., 2019).

**Farmacocinética e metabolismo:** São parâmetros muito importantes, realizados com animais, roedores ou não-roedores. O protocolo do teste inclui amostragem de plasma, soro, urina, fezes, que fornecem dados sobre absorção, distribuição, metabolismo e excreção da substância avaliada (FDA, 2007a).

Toxicidade de doses repetidas: São realizados testes *in vivo* com roedores ou não-roedores, a curto prazo (*Short term*), entre 14 e 28 dias (OECD, 2008), ou a longo prazo (*Long term*), entre 90 dias e 1 ano (OECD, 1998), com o objetivo de determinar o perfil toxicológico da substância de estudo após a administração repetida. Após o período de administração da substância investigada, são efetuados exames oftalmológicos, hematológicos, microscópicos, histopatológicos e de urina, além de ensaios de neurotoxicidade e imunotoxicidade (FDA, 2003a). A partir desses dados é possível determinar o nível de ausência de efeito adverso observado, do inglês, *no observed adverse effect level* (NOAEL). Além disso, esses resultados são utilizados como base para testes posteriores de toxicidade subcrônica e crônica.

Toxicidade subcrônica e crônica: Os testes são semelhantes aos realizados na toxicidade de doses repetidas. A substância investigada é administrada de acordo com os testes conduzidos a curto e longo prazo, em doses graduais aos grupos de animais experimentais. São identificados os efeitos tóxicos, os órgãos alvo e a relação entre dose-resposta, bem como são obtidas informações sobre os efeitos nas funções fisiológicas, hematológicas, patológicas e histopatológicas, buscando a elucidação do modo de ação da substância estudada (OECD, 2018a; 2018b).

Neurotoxicidade: O estudo de neurotoxicidade avalia todo e qualquer efeito adverso na estrutura ou função do sistema nervoso central e/ou periférico após a exposição da substância investigada (OECD, 1997b). O teste pode ser agudo, subcrônico ou crônico e consiste em administrar aos animais experimentais três diferentes doses da substância, além do controle. Durante a realização do estudo, os animais são avaliados diariamente por meio de pesagem, testes bioquímicos, oftalmológicos, hematológicos e histopatológicos. Ao final do estudo é realizada a neurohistopatologia detalhada, avaliando os efeitos neurocomportamentais e neuropatológicos, em termos de incidência e gravidade, além de qualquer outro efeito adverso observado (WHO, 2009).

Imunotoxicidade: Nesse ensaio são investigados os efeitos do novo aditivo ao sistema imunológico, que incluem imunossupressão, imunoestimulação, hipersensibilidade e autoimunidade (FDA, 2003b). A imunotoxicidade é um estudo complexo, uma vez que envolve uma série de eventos celulares. Sendo assim, exige uma interpretação cuidadosa dos resultados (WHO, 2009). Os experimentos são conduzidos com animais de laboratório, identificando agentes imunomoduladores supressores pelas seguintes avaliações: histopatologia de órgãos linfoides; fenotipagem linfocitária, verificando a celularidade dos tecidos linfoides e hematologia do sangue periférico; respostas imunes, determinando a função das células imunes; e resistência a doenças ou ao hospedeiro (WHO, 2009).

Carcinogenicidade: Por meio de testes laboratoriais *in vivo*, são identificados os riscos associados ao câncer, definindo as propriedades carcinogênicas da substância testada, o tempo de aparecimento dos sintomas e os órgãos acometidos (OECD, 2018c). Os experimentos costumam ser realizados durante toda a vida dos animais, comumente roedores, de ambos os sexos, em torno de 2 anos. No

estudo de carcinogenicidade é recomendada a exposição *in-utero*, para avaliar o efeito da substância no útero e no feto (FDA, 2007b).

Estudos com seres humanos: Após o cumprimento dos protocolos laboratoriais *in vitro* e *in vivo*, e os resultados obtidos demonstrarem que a nova substância estudada seja segura, a próxima etapa é a realização de estudos com seres humanos. Os testes são realizados em todas as faixas etárias, desde crianças até idosos, de ambos os sexos e incluem exames bioquímicos, função de órgãos, reações enzimáticas e ensaios de absorção, metabolismo e excreção do novo aditivo alimentar. Além disso, são realizados estudos clínicos a longo prazo, com o intuito de identificar seus efeitos adversos (FDA, 1993).

## APROVAÇÃO PELOS ÓRGÃOS REGULAMENTADORES

Anteriormente foi relatado a importância do estudo de toxicidade, os principais testes que são realizados para garantir a segurança de uma nova substância, e assim alcançar sucesso na aprovação e liberação do uso de novos aditivos alimentares. Sabe-se que é um processo longo e lento. Em geral, os experimentos demoram em torno de 14 a 28 dias nos ensaios em curto prazo, 90 dias nos subcrônicos, 1 ano nos crônicos e até 2 anos no estudo de carcinogenicidade (WHO, 2009).

A partir dos resultados obtidos nos estudos de toxicidade, são conhecidos os efeitos nocivos e adversos da substância avaliada, são estabelecidos os níveis de NOAEL e menor dose na qual são observados efeitos adversos, do inglês, *lowest observable adverse effect level* (LOAEL), e finalmente são definidos os parâmetros de IDA e dose de referência (RfD), que é o valor estimado de uma exposição diária a uma substância segura a fim de não induzir efeitos adversos à saúde humana (Oga et al., 2014). Esta definição é responsabilidade dos órgãos regulamentadores, que aprovam os novos aditivos, liberam e fiscalizam seu uso. Além disso, esses órgãos são responsáveis por propor limite de uso para o aditivo alimentar.

A EFSA e a FDA são importantes órgãos governamentais que mundialmente legislam e supervisionam a aprovação e a regulamentação de novos aditivos alimentares. A EFSA é uma agência independente da União Europeia que divulga pareceres científicos sobre os riscos associados aos alimentos, contribuindo com a legislação e as políticas dos países europeus (EFSA, 2020). E a FDA fornece diretrizes gerais para estudos toxicológicos, e é responsável por regular, controlar e supervisionar diversas categorias de produtos, incluindo alimentos e bebidas (FDA, 2020).

No Brasil, a ANVISA é responsável por controlar e fiscalizar os aditivos alimentares. A ANVISA estabelece normas dos aditivos alimentares permitidos, para as diferentes categorias de alimentos, bem como determina os limites máximos. Essas definições são apoiadas em regulamentações de órgãos internacionais, como *Codex Alimentarius*, JECFA, FDA e EFSA (ANVISA, 2020).

## CONCLUSÃO

Como observado nas últimas décadas, os hábitos relacionados ao consumo alimentar vêm sofrendo grandes mudanças por parte dos consumidores. Cada vez mais a conscientização do consumo de alimentos industrializados e sem adição de insumos naturais vem perdendo mercado.

Como essas novas perspectivas apresentadas, é possível concluir que a substituição dos aditivos sintéticos relacionados a estruturação dos alimentos é bastante possível, já que fontes de aditivos podem ser encontradas em abundância na natureza.

Deve ser evidenciado ainda, que as leis de regulamentação e liberação desses aditivos devem estar sempre em constante atualização para que assim os consumidores estejam seguros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ali RM, Al-Hilifi SAH, Al-Mossawi AEBHJ (2020). Extraction of lutein from some plant source in different conditions and application in food system. *Plant Archives*, 20: 1679–1685.
- Albuquerque BR, Oliveira MBPP, Barros L, Ferreira ICFR (2020). Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-31.
- Alzate-Arbeláez AF, Dorta E, López-Alarcón C, Cortés FB, Rojano BA (2019). Immobilization of Andean berry (*Vaccinium meridionale*) polyphenols on nanocellulose isolated from banana residues: A natural food additive with antioxidant properties. *Food Chemistry*, 294: 503–517.
- Anggraeni VJ, Ramdanawati L, Ayuantika W (2019). Optimization of Total Anthocyanin Extraction from Brown Rice (*Oryza nivara*). *Journal of Physics: Conference Series*, 1338: 012006.
- ANVISA (2020). O que é aditivo alimentar? Para que serve?. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em:<<http://portal.anvisa.gov.br/>> Acessado em: 01 jun. 2020.
- ANVISA (2020). Aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em:<<http://portal.anvisa.gov.br/alimentos/aditivos-alimentares>> Acessado em: 04 ago. 2020.
- Barros RGC, Andrade JKS, Pereira UC, de Oliveira CS, Rezende YRRS, Silva TOM, Nogueira JP, Gualberto NC, Araujo HCS, Narain N (2020). Phytochemicals screening, antioxidant capacity and chemometric characterization of four edible flowers from Brazil. *Food Research International*, 130: 108899.
- Bento-Silva A., Koistinen VM., Mena P, Bronze MR, Hanhineva K, Sahlstrøm S, Kitryté V, Moco S, Aura AM (2020). Factors affecting intake, metabolism and health benefits of phenolic acids: do we understand individual variability? *European Journal of Nutrition*, 59(4): 1275–1293.

- Bernaerts TMM, Gheysen L, Foubert I, Hendrickx ME, Van Loey AM (2019). The potential of microalgae and their biopolymers as structuring ingredients in food: A review. *Biotechnology Advances*, 37(8): 107419.
- Bharathiraja S, Suriya J, Krishnan M, Manivasagan P, Kim SK (2017). Production of Enzymes From Agricultural Wastes and Their Potential Industrial Applications. 80(1): 125-148.
- Böcker L, Hostettler T, Diener M, Ederc S, Demuthc T, Adamcikk J, Reineked K, Leebe E, Nyströmc L, Mathysa A (2020). Time-temperature-resolved functional and structural changes of phycocyanin extracted from *Arthrospira platensis*/Spirulina. *Food Chemistry*, 316: 126374.
- Bucalossi G, Fia G, Dinnella C, De Toffoli A, Canuti V, Zanoni B, Servili M, Pagliarini E, Toschi TG, Monteleone E (2020). Functional and sensory properties of phenolic compounds from unripe grapes in vegetable food prototypes. *Food Chemistry*, 315: 126291.
- Carocho M, Barreiro MF, Morales P, Ferreira ICFR (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4): 377–399.
- Carocho M, Morales P, Ferreira ICFR (2018). Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends in Food Science and Technology*, 71: 107–120.
- Castro-Muñoz R (2019). Pervaporation: The emerging technique for extracting aroma compounds from food systems. *Journal of Food Engineering*, 253: 27-39.
- Cegielka A, Hać-Szymańczuk E, Piwowarek K, Dasiewicz K, Słowiński M, Wrońska K (2019). The use of bioactive properties of sage preparations to improve the storage stability of low-pressure mechanically separated meat from chickens. *Poultry Science*, 98(10): 5045–5053.
- Chugh B, Kamal-Eldin A (2020). Bioactive compounds produced by probiotics in food products. *Current Opinion in Food Science*, 32: 76–82.
- Conceição N, Albuquerque BR, Pereira C, Corrêa RCG, Lopes CB, Calhella RC, Alves MJ, Barros L, Ferreira ICFR (2019). By-Products of Camu-Camu [*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh] as Promising Sources of Bioactive High Added-Value Food Ingredients: Functionalization of Yogurts. *Molecules*, 25(70): 1-17.
- Corrêa RCG, Garcia JAA, Correa VG, Vieira TF, Bracht A, Peralta RM (2019). Pigments and vitamins from plants as functional ingredients: Current trends and perspectives. *Advances in Food and Nutrition Research*, 90: 259–303.
- Cuevas-Glory L, Pino J, Lopez-Sauri D, Novelo-Torres B, Sauri-Duch E (2020). Characterization of odor-contributing volatiles in two Habanero pepper varieties by gas chromatography–olfactometry. *Chemical Papers*, 74(7): 2239–2246.

- Da Silva LP, Pereira E, Prieto MA, Simal-Gandara J, Pires TCSP, Alves MJ, Calhella R, Barros L, Ferreira ICFR (2019). *Rubus ulmifolius* schott as a novel source of food colorant: extraction optimization of coloring pigments and incorporation in a bakery product. *Molecules*, 24(11): 2181.
- De Biaggi M, Donno D, Mellano MG, Gamba G, Riondato I, Rakotoniaina EN, Beccaro GL. (2020). Emerging species with nutraceutical properties: Bioactive compounds from *Hovenia dulcis* pseudofruits. *Food Chemistry*, 310: 125816.
- Dini C, Zaro MJ, Rolny N, Caputo M, Boido E, Dellacassa E, Viña SZ (2020). Characterization and stability analysis of anthocyanins from *Pachyrhizus abipa* (Wedd) Parodi roots. *Food Bioscience*, 34: 100534.
- Dunkel A, Steinhaus M, Kotthoff M, Nowak B, Krautwurst D, Schieberle P, Hofmann T (2014). Nature's chemical signatures in human olfaction: A foodborne perspective for future biotechnology. *Angewandte Chemie International Edition*. 53(28): 7124-7143.
- EFSA - European Food Safety Authority. About EFSA (2020). Disponível em: <<http://www.efsa.europa.eu/en/aboutefsa>> Acessado em: 04 ago. 2020.
- Batiha GE, Beshbishy AM, Ikram M, Mulla ZS, El-Hack MEA, Taha AE, Algammal AM, Elewa YHA (2020). The Pharmacological Activity, Biochemical Properties, and Pharmacokinetics of the Major Natural Polyphenolic Flavonoid: Quercetin. *Foods*, 9(3): 374.
- El-Zaedi H, Calín-Sánchez Á, Noguera-Artiaga L, Martínez-Tomé J, Carbonell-Barrachina ÁA (2020). Optimization of harvest date according to the volatile composition of Mediterranean aromatic herbs at different vegetative stages. *Scientia Horticulturae*, 267: 109336.
- Fan XJ, Liu SZ, Li HH, Li HH., He J, Feng JT, Zhang X, Yan H (2019). Effects of *Portulaca oleracea* L. extract on lipid oxidation and color of pork meat during refrigerated storage. *Meat Science*, 147: 82–90.
- FDA (1993). Redbook II: Chapter VI Human studies. Food and Drug Administration. Guidance Document. Disponível em: <<https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/UCM078753.pdf>>
- FDA (2003a) Redbook 2000: IV.C.3.a. Short-Term toxicity studies with rodents. Food and Drug Administration. Guidance Document. Disponível em: <<https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/redbook-2000-ivc3a-short-term-toxicity-studies-rodents#exp>>
- FDA (2003b). Redbook 2000: IV. C. 4. A subchronic toxicity studies with rodents toxicological principles for the safety assessment of food. Food and Drug Administration. Guidance Document. Disponível em:

- <<https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/IngredientsAdditivesGRASPackaging/ucm078345.htm>>
- FDA (2007a). Redbook 2000: Metabolism and pharmacokinetic studies. Food and Drug Administration. Guidance Document. Disponível em: <<https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/UCM078741.pdf>>
- FDA (2007b). Redbook 2000: IV.C.8. In-Utero exposure phase for addition to carcinogenicity studies or chronic toxicity studies with rodents. Food and Drug Administration. Guidance Document. Disponível em: <<https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/redbook-2000-ivc8-utero-exposure-phase-addition-carcinogenicity-studies-or-chronic-toxicity-studies>>.
- FDA (2020). Food Ingredients & Packaging. Food and Drug Administration. Disponível em: <<https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging>> Acessado em: 04 ago. 2020.
- Fernandes RPP, Trindade MA, Tonin FG, Pugine SMP, Lima CG, Lorenzo JM, de Melo MP (2017). Evaluation of oxidative stability of lamb burger with *Origanum vulgare* extract. *Food Chemistry*, 233: 101–109.
- Fidelis M, de Oliveira SM, Sousa Santos J, Bragueto Escher G, Silva Rocha R, Gomes Cruz A, Araújo Vieira do Carmo M, Azevedo L, Kaneshima T, Oh WY, Shahidi F, Granato D (2020). From byproduct to a functional ingredient: Camu-camu (*Myrciaria dubia*) seed extract as an antioxidant agent in a yogurt model. *Journal of Dairy Science*, 103(2): 1131–1140.
- Gheonea I, Aprodu I, Cîrciumaru A, Râpeanu G, Bahrim GE, Stănciuc N (2021). Microencapsulation of lycopene from tomatoes peels by complex coacervation and freeze-drying: Evidences on phytochemical profile, stability and food applications. *Journal of Food Engineering*, 288: 110166.
- Ghosh T, Beniwal A, Semwal A, Navani NK (2019). Mechanistic insights into probiotic properties of lactic acid bacteria associated with ethnic fermented dairy products. *Frontiers in Microbiology*, 10: 502.
- Giaconia MA, Ramos S dos P, Pereira CF, Lemes AC, De Rosso VV, Braga ARC (2020). Overcoming restrictions of bioactive compounds biological effects in food using nanometer-sized structures. *Food Hydrocolloids*, 107, 105939.
- Giuffrida D, Martínez N, Arrieta-Garay Y, Fariña L, Boido E, Dellacassa E (2020). Valorisation of *Schinus molle* fruit as a source of volatile compounds in foods as flavours and fragrances. *Food Research International*, 133: 109103.
- Guleria A, Neogy S, Raorane BS, Adhikari S (2020). Room temperature ionic liquid assisted rapid synthesis of amorphous Se nanoparticles : Their prolonged stabilization and antioxidant studies. *Materials Chemistry and Physics*, 253: 123369.

- Guo L, Kong D, Yao K, Li J, Li H, Lan N, Hua Y (2020). Optimization and characterization of pigment production from *Boletus edulis* Bull.: Fr. by ultrasonic-assisted extraction. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44:e14534.
- Halliwell B. (1990). How to Characterize a Biological Antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9(1): 1–32.
- Hamed M, Bougatef H, Karoud W, Krichen F, Haddar A, Bougatef A, Sila A (2020). Polysaccharides extracted from pistachio external hull: Characterization, antioxidant activity and potential application on meat as preservative. *Industrial Crops and Products*, 148: 112315.
- He C, Li Z, Liu H, Zhang H, Wang L, Chen H (2020). Characterization of the key aroma compounds in *Semnostachya menglaensis* Tsui by gas chromatography-olfactometry, odor activity values, aroma recombination, and omission analysis. *Food Research International*, 131: 108948.
- Jahurul MHA, Azzatul FS, Sharifudin MS, Norliza MJ, Hasmadi M, Lee JS, Patricia M, Jinap S, George MRR, Khan MF, Zaidul ISM (2020). Functional and nutritional properties of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) seed and its industrial application: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 99: 367-374.
- Jansen T, Claassen L, van Kamp I, Timmermans DRM (2020). ‘All chemical substances are harmful.’ public appraisal of uncertain risks of food additives and contaminants. *Food and Chemical Toxicology*, 136: 110959.
- Jiang Z, Wang L, Gao Z, Zhuang B, Yin Q, Liu E (2019). Green and efficient extraction of different types of bioactive alkaloids using deep eutectic solvents. *Microchemical Journal*, 145: 345-353.
- Júnior MM, de Oliveira TP, Gonçalves OH, Leimann FV, Marques LLM, Fuchs RHB, Cardoso FAR, Droval AA (2019). Substitution of synthetic antioxidant by curcumin microcrystals in mortadella formulations. *Food Chemistry*, 300: 125231.
- Kim MK, Jang H won, Lee KG (2020). Characterization of key aroma-active compounds isolated from omija fruit treated differently based on odor activity values and descriptive sensory analysis. *Foods*, 9(5):638.
- Koliastasi A, Kompothekra V, Giotis C, Moustakas AK, Skotti EP, Gerakis A, Kalogianni EP, Georgiou D, Ritzoulis C (2020). Novel emulsifiers from olive mill compost. *Food Hydrocolloids*, 99: 105373.
- Kumar N, Goel N (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnol Reports*. 24: e00370.
- Kumar, Dourges., Singh, Vijay Pratap, Sharma, Shivesh; Kishore N (2019). *Food Safety and Human Health*. Elsevier. 385p.



- Kurniawan JM, Yusuf MM, Azmi SS, Salim KP, Prihastyanti MNU, Indrawati R, Heriyanto, Shioi Y, Limantara L, Brotosudarmo THP (2019). Effect of drying treatments on the contents of lutein and zeaxanthin in orange- and yellow-cultivars of marigold flower and its application for lutein ester encapsulation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509: 012060.
- Lafarga T, Fernández-Sevilla JM, González-López C, Acien-Fernández FG (2020). Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137: 109356.
- Lawal IA, Lawal MM, Azeez MA, Ndungu P (2019). Theoretical and experimental adsorption studies of phenol and crystal violet dye on carbon nanotube functionalized with deep eutectic solvent. *Journal of Molecular Liquids*, 288: 110895.
- Li W, Zhang X, He Z, Chen Y, ZiyinLi, Meng T, Li Y, Cao Y (2020). In vitro and in vivo antioxidant activity of eucalyptus leaf polyphenols extract and its effect on chicken meat quality and cecum microbiota. *Food Research International*, 136: 109302.
- Lim SL, Mohamed S (2016). Functional food and dietary supplements for lung health. *Trends in Food Science and Technology*, 57:74-82.
- Lin D, Liu Z, Shen R, Chen S, Yang X (2020). Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 158: 1007-1019.
- Liu RH. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *The Journal of Nutrition*, 134(12): 3479S-3485S.
- Liu Y, Li Q, Yang W, Sun B, Zhou Y, Zheng Y, Huang M, Yang W (2020). Characterization of the potent odorants in *Zanthoxylum armatum* DC Prodr. pericarp oil by application of gas chromatography–mass spectrometry–olfactometry and odor activity value. *Food Chemistry*, 319: 126564.
- Lombardelli C, Liburdi K, Benucci I, Esti M (2020). Tailored and synergistic enzyme-assisted extraction of carotenoid-containing chromoplasts from tomatoes. *Food and Bioprocess Processing*, 121: 43–53.
- Mahmood K, Kamilah H, Shang PL, Sulaiman S, Ariffin F, Alias AK (2017). A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Bioscience*, 19: 110–120.
- Mannino G, Perrone A, Campobenedetto C, Schittone A, Margherita Berteà C, Gentile C (2020). Phytochemical profile and antioxidative properties of *Plinia trunciflora* fruits: A new source of nutraceuticals. *Food Chemistry*, 307: 125515.
- Martinović A, Cavoski I (2020). The exploitation of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) cultivars and genotypes from Montenegro as a source of natural bioactive compounds. *Food Chemistry*, 318, 126549.

- Martins FCOL, Sentanin MA, De Souza D (2019). Analytical methods in food additives determination: Compounds with functional applications. *Food Chemistry*, 272: 732-750.
- Mohammadian M, Waly MI, Moghadam M, Emam-Djomeh Z, Salami M, Moosavi-Movahedi AA (2020). Nanostructured food proteins as efficient systems for the encapsulation of bioactive compounds. *Food Science and Human Wellness*. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.04.009>
- Mohd Ali M, Hashim N, Aziz SA, Lasekan O (2020). Exploring the chemical composition, emerging applications, potential uses, and health benefits of durian: A review. *Food Control*. 113:107189.
- Natalello A, Priolo A, Valenti B, Codini M, Mattioli S, Pauselli M, Puccio M, Lanza M, Stergiadis S, Luciano G (2020). Dietary pomegranate by-product improves oxidative stability of lamb meat. *Meat Science*, 162: 108037.
- Noor S, Bhat ZF, Kumar S, Mudiyanse R (2018). Preservative effect of *Asparagus racemosus*: A novel additive for bioactive edible films for improved lipid oxidative stability and storage quality of meat products. *Meat Science*, 139: 207–212.
- Nowak E, Livney YD, Niu Z, Singh H (2019). Delivery of bioactives in food for optimal efficacy: What inspirations and insights can be gained from pharmaceuticals?. *Trends in Food Science and Technology*, 91: 557–573.
- OECD (1997a). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 471: bacterial reverse mutation test*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- OECD (1997b). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 424: neurotoxicity study in rodents*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- OECD (1998). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 409: Repeated dose 90-day oral toxicity study in non-rodents*. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2008). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 407: Repeated dose 28-day oral toxicity study in rodents*. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2010). Organisation for Economic Co-Operation and Development. *Proposal for updating guideline 473: in vitro mammalian chromosome aberration test*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2015). Organisation for Economic Co-Operation and Development. *Test n° 478: rodent dominant lethal test*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2016a). Organisation for Economic Co-Operation and Development. *Test n° 487: in vitro mammalian cell micronucleus test*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.

- OECD (2016b). Organisation for Economic Co-Operation and Development. *Test n° 474: mammalian erythrocyte micronucleus test*. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2018a). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 408: Repeated dose 90-day oral toxicity study in rodents*. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2018b). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 452: Chronic toxicity studies*. OECD Guidelines for Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- OECD (2018c). Organisation for Economic Co-operation and Development. *Test n° 453: Combined chronic toxicity/carcinogenicity studies*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.
- Oga S, Camargo MMA, Batistuzzo JAO (2014). *Fundamentos de Toxicologia*. 4. ed. Editora: Atheneu, São Paulo. 704p.
- Olusegun ET, Olajire AA (2015). Toxicity of food colours and additives: A review. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 9(36): 900-914.
- Pardilhó SL, Machado S, F. Bessada SM, F. Almeida M, Oliveira MB, Dias MJ (2020). Marine macroalgae waste from northern Portugal: A potential source of natural pigments? *Waste and Biomass Valorization*.
- Pataro G, Carullo D, Falcone M, Ferrari G (2020). Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63: 102369.
- Permal R, Leong Chang W, Seale B, Hamid N, Kam R. (2020). Converting industrial organic waste from the cold-pressed avocado oil production line into a potential food preservative. *Food Chemistry*, 306: 125635.
- Puskuri J, Katukam V, Sashidhar RB (2017). Immunological evaluation of Gum kondagogu (*Cochlospermum gossypium*): A tree gum with potential applications in food and pharma industry. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11: 48–52.
- Rengarajan S, Melanathuru V, Govindasamy C (2020). Journal of King Saud University – Science Antioxidant activity of flavonoid compounds isolated from the petals of *Hibiscus rosa sinensis*. *Journal of King Saud University - Science*, 32(3): 2236–2242.
- Rocchetti G, Blasi F, Montesano D, Ghisoni S, Marcotullio MC, Sabatini S, Cossignani L, Lucinia L (2019). Impact of conventional/non-conventional extraction methods on the untargeted phenolic profile of *Moringa oleifera* leaves. *Food Research International*, 115: 319–327.


- Rodrigues AS, Kubota EH, da Silva CG, dos Santos Alves J, Hautrive TP, Rodrigues GS, Campagnol PCB (2020a). Banana inflorescences: A cheap raw material with great potential to be used as a natural antioxidant in meat products. *Meat Science*, 161: 1–5.
- Barbosa JR, Freitas MMS, Oliveira LC, Martins LHS, Almada-Vilhena AO, Oliveira RM, Pieczarka JC, Brasil DSB, Carvalho Junior RN (2020). Obtaining extracts rich in antioxidant polysaccharides from the edible mushroom *Pleurotus ostreatus* using binary system with hot water and supercritical CO<sub>2</sub>. *Food Chemistry*, 330: 127173.
- Rodrigues LM, Romanini EB, Silva E, Pilau EJ, da Costa SC, Madrona GS, Rodrigues LM (2020b). Camu-camu bioactive compounds extraction by ecofriendly sequential processes (ultrasound assisted extraction and reverse osmosis). *Ultrasonics Sonochemistry*, 64: 105017.
- Rojas J, Buitrago A (2019). Antioxidant activity of phenolic compounds biosynthesized by plants and its relationship with prevention of neurodegenerative diseases. In: Campos MRS, *Bioactive Compounds: Health benefits and potential applications*. Elsevier Inc. 1: 3-31.
- Rózyło R (2020). Recent trends in methods used to obtain natural food colorants by freeze-drying. *Trends in Food Science & Technology*, 102: 39–50.
- Saifullah M, Shishir MRI, Ferdowsi R, Tanver Rahman MR, Van Vuong Q (2019). Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends in Food Science and Technology*, 86: 230-251.
- Schneider VS, Bark JM, Winnischofer SMB, Dos Santos EF, Iacomini M, Cordeiro LMC (2020). Dietary fibres from guavira pomace, a co-product from fruit pulp industry: Characterization and cellular antioxidant activity. *Food Research International*, 132: 109065.
- Seibert JB, Bautista-Silva JP, Amparo TR, Petit A, Pervier P, Dos Santos Almeida JC, Azevedo MC, Silveira BM, Brandão GC, de Souza GHB, de Medeiros Teixeira LF, Dos Santos ODH (2019). Development of propolis nanoemulsion with antioxidant and antimicrobial activity for use as a potential natural preservative. *Food Chemistry*, 287: 61-67.
- Shabani E, Zappi D, Berisha L, Dini D, Letizia M, Sadun C (2020). Talanta Deep eutectic solvents (DES) as green extraction media for antioxidants electrochemical quantification in extra-virgin olive oils. *Talanta*, 215: 120880.
- Shah MA, Bosco SJD, Mir SA (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98(1): 21-33.
- Sharma S, Cheng S, Bhattacharya B, Chakkaravarthi S (2019). Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nanoemulsion-based encapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 91: 305-318.

- Slavov A, Ognyanov M, Vasileva I (2020). Pectic polysaccharides extracted from pot marigold (*Calendula officinalis*) industrial waste. *Food Hydrocolloids*, 101: 105545.
- Soriano A, Alañón ME, Alarcón M, García-Ruiz A, Díaz-Maroto MC, Pérez-Coello MS (2018). Oak wood extracts as natural antioxidants to increase shelf life of raw pork patties in modified atmosphere packaging. *Food Research International*, 111: 524-533.
- Sun L bin, Zhang Z yong, Xin G, Sun B, Bao X, Wei Y, Zhao X, Xu H (2020). Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms. *Trends in Food Science and Technology*, 96: 176-187.
- Van Vuuren S, de Rapper S (2020). Odoriferous Therapy: Identifying the Antimicrobial Potential of Essential Oils against Pathogens of the Respiratory Tract. *Chemistry & Biodiversity*. 17: e2000062.
- Vieira AJ, Beserra FP, Souza MC, Totti BM, Rozza AL (2018). Limonene: Aroma of innovation in health and disease. *Chemico-Biological Interactions*, 283: 97-106.
- Vuolo MM, Lima VS, Maróstica Junior MR (2019). Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. In: In: Campos MRS, *Bioactive Compounds: Health benefits and potential applications*. Elsevier Inc. 1: 33-50.
- WHO (2009). World Health Organization. Hazard identification and characterization: toxicological and human studies. In: *Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food. IPCS: International Programme on Chemical Safety*.
- Wu G, Chang C, Hong C, Zhang H, Huang J, Jin Q, Wang X (2019). Phenolic compounds as stabilizers of oils and antioxidative mechanisms under frying conditions: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 92: 33-45.
- Zhong R, Wan X, Wang D, Zhao C, Liu D, Gao L, Wang M, Wu C, Nabavid SM, Dagliai M, Capanoglu E, Xiao J, Cao H (2020) Polysaccharides from Marine Enteromorpha: Structure and function. *Trends in Food Science and Technology*. 99:11-20.
- Zeece M (2020). Food additives. In *Introduction to the Chemistry of Food*. Elsevier. 251–311.


## Metal pesado em pescado: a presença do mercúrio como agente contaminante

Recebido em: 25/07/2020

Aceito em: 05/08/2020

 10.46420/9786588319031cap4

Ezequias Santos Ribeiro<sup>1</sup> 

Wesclen Vilar Nogueira<sup>2\*</sup> 

Rute Bianchini Pontuschka<sup>3</sup> 

### INTRODUÇÃO

A pesca extrativa e a aquicultura são importantes setores da produção alimentícia mundial (Lopes et al., 2016). Entretanto, a produção do primeiro setor produtivo se estabilizou na década de 1990 e, para suprir a demanda de pescado (e.g. peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis, equinodermos), a aquicultura passou a ser considerada uma alternativa viável para continuar aumentando a oferta desse alimento (FAO, 2016), além de reduzir a pressão exercida sobre algumas espécies pela pesca extrativa executada de forma desordenada (Molina; Yedra, 2018). Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) a produção de pescado, incluindo os setores aquícola e extrativista, ultrapassou 172 milhões de toneladas (t) em 2017, apresentando incremento produtivo de 4,1% em relação ao ano anterior (FAO, 2019). Do total produzido, grande parte (45%) foi destinada para consumo humano, principalmente na forma de pescado fresco ou vivo (FAO, 2019).

O consumo de pescado está relacionado a diversos benefícios à saúde humana (Mozaffarian et al., 2003; Burger; Gochfeld, 2009), pois é considerado fonte de proteína de alto valor biológico, além de apresenta alto teor de ômega 3, vitaminas e minerais (Souza et al., 2003). Entretanto, apesar de ser uma excelente fonte nutricional, o pescado é considerado a principal fonte de exposição humana a contaminantes inorgânicos (Kitahara et al., 2000; Virga et al., 2007; Pan; Wang, 2011; Chowdhury, 2018; Rajeshkumar et al., 2018; Ezemonye et al., 2019; Jara-Marini et al., 2019; Maurya et al., 2019), com

---

<sup>1</sup> Fundação Universidade Federal do Rondônia - UNIR, Departamento de Engenharia de Pesca - DEPA, Presidente Médici, RO, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Escola de Química e Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Rio Grande, RS, Brasil.

<sup>3</sup> Fundação Universidade Federal do Rondônia - UNIR, Departamento de Engenharia de Pesca - DEPA, Presidente Médici, RO, Brasil.

\* Autor de correspondência: wesclenvilar@gmail.com

destaque para os metais não essenciais (e.g. cobre, chumbo, mercúrio, arsênio e cádmio) (Rejomon et al., 2010; Jabeen et al. 2012; Mert et al. 2014; Ricketts et al., 2020). Dentre esses, o mercúrio (Hg) se destaca por apresentar ampla ocorrência em corpos aquáticos e elevada toxicidade para humanos e animais (Correia et al., 2014; Lima et al., 2015).

A contaminação por metais pode ocorrer de forma natural através de processos geoquímicos (Chahid et al., 2014) ou de fontes antropogênicas, como despejo de rejeitos industriais e agrícolas (Kvasnicka et al., 2019; Gabriel et al., 2020), e atividades de mineração em corpos aquáticos (Pyle et al., 2005; Moiseenko; Kudryavtseva, 2011). A problemática quanto à presença dos metais está relacionada à capacidade que esses compostos possuem de bioacumular na cadeia alimentar (Virga et al., 2007). Os efeitos em humanos podem variar de anemia, diarreia, estomatite, sabor metálico na boca, sangramento gengival, vômito, até alterações cromossômicas (Jaiswal et al., 2018), efeitos estrogênicos, carcinogênicos (Lappano et al., 2017) e danos ao sistema nervoso, ao fígado, ossos, alterações hormonais (Engwa et al., 2018) e doenças graves como a doença de Minamata (Sakamoto et al., 2017) e itai-itai (Nogawa et al., 2017). O pescado vivo, por sua vez, também sofre os efeitos dessa contaminação, que podem variar de alterações histopatológicas, redução no ganho de peso e crescimento (Vitek et al., 2007), efeitos embriotóxicos (Mai et al., 2012), genotóxicos (Ossana et al., 2016), baixa fertilidade e até a morte (Repula et al., 2012).

Desta forma, em virtude da alta exploração e consumo de pescado, da capacidade de bioacumulação dos metais na cadeia alimentar e dos efeitos nocivos que esses podem ocasionar para humanos e animais, neste capítulo foram compiladas informações referentes à exploração de pescado no Brasil, consumo nacional e, ocorrência de mercúrio em pescado no Brasil. Foi feito também um levantamento dos níveis de ocorrência de mercúrio no músculo de diferentes espécies de pescado exploradas no país e, finalmente, fez-se uma estimativa do risco de exposição da população brasileira.

## **EXPLORAÇÃO DE PESCADO NO BRASIL**

Segundo o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA), em seu Art. 205, entende-se por pescado os peixes, crustáceos, moluscos, anfíbios, répteis e outros animais aquáticos utilizados na alimentação humana (Brasil, 2017). Quando explorados de forma extrativa com viés econômico, o manejo desses recursos deve ser baseado em estudos populacionais, reprodutivos e demográficos, permitindo assim, a sobrevivência das espécies (Barboza et al., 2013). Quando explorados de forma confinada, deve-se procurar alcançar grandes escalas produtivas através da aplicação de estratégias de manejo abrangendo todo processo de criação (e.g. cria, recria e engoda) (Barroso; Moura, 2016).

No Brasil, a produção do pescado tem perspectivas de aumento em torno de 104% até 2025, de acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2016). Essas projeções para o país estão associadas à alta disponibilidade de recursos hídricos (e.g. grandes bacias hidrográficas e extensa costa litorânea), condições geográficas e climáticas favoráveis (Siqueira, 2018), além de elevado número de espécies de interesse zootécnico e mercadológico (Baldisserotto, 2013). Esses fatores permitem a estruturação e a exploração da pesca extrativa, e o desenvolvimento da aquicultura, refletindo um panorama com alto potencial para exploração econômica no país (Siqueira, 2018).

Apesar desse cenário promissor, a nível mundial, o Brasil ocupa a 21ª posição na produção de pescados. A produção piscícola nacional, entretanto, desde meados da década de 1990 avançou, atribuindo ao país a 13ª posição a nível mundial, com despesca de aproximadamente 605 milhões de t (FAO, 2020) e, primeiro lugar no ranking de produção latino-americana (Peixe BR, 2019). A produção piscícola nacional está voltada para o cultivo de tilápia (*Oreochromis niloticus*, *O. aureus* e *O. mossambicus*) (Peixe BR, 2019). No ano de 2018 a produção de tilápia se concentrou principalmente na Região Sul e sudeste, representando 55,4% da produção piscícola nacional, apresentando incremento produtivo de 11,9% em relação a 2017. Esses valores conferem ao país a 4ª posição mundial em produção de tilápia, atrás apenas da China, Indonésia e Egito (Brasil, 2019).

Além da tilápia, as espécies nativas (e.g. pacu - *Piaractus mesopotamicus*, pirapitinga - *Piaractus brachypomus* e híbridos da subfamília Myleinae - tambacu e tambatinga) lideram o segundo lugar em produção nacional. Grande parte da produção das espécies nativas está concentrada nas Regiões Norte, Sudeste e Centro-oeste, com destaque para o tambaqui (*Colossoma macropomum*), segunda espécie mais cultivada no país (Peixe BR, 2019). Além dessas espécies, o Brasil também apresenta expressiva produção de carpa (*Ctenopharyngodon idellus* e *Cyprinus carpio*), pirarucu (*Arapaima gigas*), jundiá (*Rhamdia quelen*), truta (*Oncorhynchus mykiss*) e panga (*Pangasius bocourti* e *P. hypophthalmus*) (Brasil, 2019).

Em se falando de outros pescados, o Brasil também se destaca na produção de crustáceos, ocupando a 10ª posição a nível mundial, com despesca aproximada de 62 milhões de t (FAO, 2020). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a produção nacional de camarão foi superior a 45 mil t no ano de 2018, com faturamento de R\$ 1,1 bilhão, registrado um crescimento produtivo de 11,4% em comparação ao ano anterior (Brasil, 2019). Esses valores consolidam o país com o terceiro lugar no ranking de produção latino-americana (Anderson; Valderrama, 2019). A espécie de maior importância a nível nacional é camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) (Monteiro et al., 2019; Oliveira; Neto, 2019), sendo a Região Nordeste a responsável por 99,4% do total produzido (Brasil, 2019; Nunes et al., 2019). Além dessa espécie, o camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*) se destaca em termos produtivos, principalmente na região amazônica



(Iketani et al., 2016; Ballester et al. 2017; Negrini et al., 2017). Além das espécies de camarão, outros crustáceos ocupam lugar de destaque em termos de produção e lucratividade no país, dentre eles podem ser destacadas as espécies de lagosta, com destaque para lagosta vermelha (*Panulirus argus*) (Nogueira, 2016; Gaeta; Cruz, 2019; Salazar; Cruz, 2019), lagosta verde (*Panulirus laevicauda*) (Lima; Andrade, 2017; Salazar; Cruz, 2019) e lagosta sapata (*Scyllarides brasiliensis*) (Lima; Andrade, 2017). As duas primeiras espécies apresentam elevada ocorrência na costa brasileira, entretanto, 95% do montante capturado é exportado e apenas 5% é consumido no país (Aragão; Cintra, 2019).

Dentre as espécies de crustáceos, um destaque especial deve ser dado às espécies de caranguejo, especialmente o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), principal espécie de crustáceo extraída dos manguezais brasileiros para fins comerciais (Nascimento et al., 2017; Côrtes et al., 2019), além também de espécies marinhas de águas profundas pertencentes ao gênero *Chaceon*, de alto valor comercial (Ferreira et al., 2016). Dentre os braquiúros, destacam-se várias espécies da Família Portunidae, popularmente conhecidas como siris, com ênfase para o gênero *Callinectes* (Severino-Rodrigues et al., 2009; Lavradas et al., 2014; Anacleto et al., 2016; Rodrigues et al., 2019). Além dos peixes e crustáceos, no Brasil outras modalidades produtivas são exploradas de forma extrativa ou confinada, entretanto, em menor escala (Tabela 1).

**Tabela 1.** Outros seguimentos que desenvolvem a exploração de pescado de forma extrativa ou confinada no Brasil.

| Seguimento     | Principais espécies produzidas                     | Referências              |
|----------------|--|--------------------------|
| Jacaricultura  | <i>Melanosuchus niger</i> (jacaré-açu)             | Cardoso et al. (2018)    |
|                | <i>Caiman latirostris</i> (jacaré-do-papo-amarelo) | Almeida e Campos (2011)  |
|                | <i>Caiman yacare</i> (jacaré-do-pantanal)          | Oliveira et al. (2017)   |
| Quelonicultura | <i>Podocnemis expansa</i> (tartaruga-da-Amazônia)  | Fantin et al. (2018)     |
|                | <i>Podocnemis unifilis</i> (tracajá)               | Mateus e Higuchi (2018)  |
| Malacocultura  | <i>Crassostrea gigas</i> (ostra-do-Pacífico)       | Soares et al. (2020)     |
|                | <i>Crassostrea brasiliiana</i> (ostra-do-mangue)   | Montanhini e Neto (2015) |
|                | <i>Mytella charruana</i> (Sururu)                  | Higino et al. (2012)     |
|                | <i>Perna perna</i> (mexilhão marrom)               | Santos et al. (2020)     |
| Ranicultura    | <i>Lithobates catesbeianus</i> (rã-touro)          | Candido et al. (2019)    |

## **CONSUMO DE PESCADO NO BRASIL**

A demanda crescente e a expansão da oferta de produtos da pesca e aquicultura levaram estes produtos a serem uma das categorias de alimentos mais comercializados no mundo (Holland, 2019). No Brasil, o consumo de pescado pode ser influenciado por diversos fatores, dos quais se destacam os culturais, econômicos (Lopes et al., 2015) e principalmente os geográficos (Sonoda; Shirota, 2012). Na região Norte do país, especificamente no Estado do Amazonas o consumo per capita é superior a 34 kg, enquanto que na região Sul, especificamente no estado do Rio Grande do Sul apresenta consumo inferior a 2 kg (Sonoda; Shirota, 2012; Vidal; Ximenes, 2019), entretanto, a média nacional de 9,38 kg per capita ano (FAO, 2019). Apesar da alta produção de pescado (Brasil, 2019; Nunes et al., 2019; Peixe BR, 2019; FAO, 2020) a média per capita nacional está abaixo do consumo mínimo preconizado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 12 kg per capita ano (FAO, 2019).

Nos últimos anos, foi observado o aumento da procura por uma alimentação mais saudável pelas populações, neste contexto, a oferta de pescado pode direcionar o consumo, em especial, por ser rica em nutrientes e apresentar baixos índices calóricos (Vélez et al., 2017). Aliado a isso, há várias ações sendo executadas no país para fomentar o aumento do consumo de pescado (Peixe BR, 2019; Lopes et al., 2020). Essas iniciativas são atribuídas, principalmente, as empresas de processamento que aumentaram seus portfólios de opções, incluindo pratos porcionados e semi prontos, além das formar tradicionais de apresentação (e.g. filé, posta) (Peixe BR, 2019).

## **OCORRÊNCIA DE MERCÚRIO EM PESCADO NO BRASIL**

De modo geral, o mercúrio apresenta como característica principais a estabilidade química, baixa biodegradabilidade, alta afinidade com grupos sulfidril e hidroxila das proteínas, além de lipossolubilidade (Siedlikowski et al., 2016; Bradley et al., 2017). Essas características facilitam sua difusão pelas membranas celulares, contribuindo com os processos de bioacessibilidade e biodisponibilidade (Bastos et al., 2015). A bioacessibilidade corresponde à fração de um composto (e.g. mercúrio) liberado de uma matriz alimentar qualquer e que está disponível para absorção, já biodisponibilidade corresponde à porção que é ingerida e atinge a circulação sanguínea (Siedlikowski et al., 2016; Bradley et al., 2017; Li; Wang, 2019). Quando ingerido, o mercúrio apresenta baixas taxas de eliminação e grande parte fica biodisponível. O compilamento de dados relativos à presença de mercúrio no músculo de diversas espécies de pescado está na Tabela 2.

**Tabela 2.** Ocorrência ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) de mercúrio em músculo de pescado no Brasil. Fonte: os autores.

| <b>Pescado</b>                    | <b>CM</b> | <b>Grupo</b> | <b>NT</b>   | <b>Referência</b>      |
|-----------------------------------|-----------|--------------|-------------|------------------------|
| <i>Anomalocardia brasiliiana</i>  | 0,052     | Molusco      | Filtrador   | Moura et al. (2018)    |
| <i>Callinectes</i> sp.            | 0,090     | Crustáceo    | Carnívoro   |                        |
| <i>Litopenaeus vannamei</i>       | 0,013     | Crustáceo    | Detritívoro |                        |
| <i>Mytella charruana</i>          | 0,055     | Molusco      | Filtrador   |                        |
| <i>Holocentrus adscensionis</i>   | 0,337     | Peixe        | Carnívoro   | Santos et al. (2018)   |
| <i>Anisotremus surinamensis</i>   | NM        | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Echinometra lucunter</i>       | 0,240     | Equinodermo  | Herbívoro   |                        |
| <i>Podocnemis unifilis</i>        | 0,188     | Réptil       | Herbívoro   | Pignati et al. (2018)  |
| <i>Echinometra lucunter</i>       | 0,193     | Equinodermo  | Herbívoro   | Santos et al. (2018)   |
| <i>Crassostrea rhizophorae</i>    | 0,074     | Molusco      | Filtrador   | Rios et al. (2016)     |
| <i>Astyanax</i> sp                | NM        | Peixe        | Herbívoro   | Lima et al. (2015)     |
| <i>Curimata cyprinoides</i>       | NM        | Peixe        | Detritívoro |                        |
| <i>Hoplias aimará</i>             | 0,540     | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Hoplias malabaricus</i>        | 0,570     | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Pellona Flavipinnis</i>        | 0,335     | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Pimelodus ornatos</i>          | 0,330     | Peixe        | Onívoro     |                        |
| <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> | 0,630     | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Plagioscion squamosissimus</i> | 0,670     | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Serrasalmus rhombens</i>       | 0,548     | Peixe        | Carnívoro   |                        |
| <i>Archosargus rhomboidalis</i>   | 0,086     | Peixe        | Onívoro     | Costa e Lacerda (2014) |
| <i>Cathorops spixii</i>           | 0,080     | Peixe        | Carnívoro   |                        |

|                                     |       |           |             |                         |
|-------------------------------------|-------|-----------|-------------|-------------------------|
| <i>Centropomus paralelus</i>        | 0,043 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Cichla</i> sp.                   | 0,059 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Eugerres brasilianus</i>         | 0,107 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Haemulon plumieri</i>            | 0,050 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Holocentrus adscensionis</i>     | 0,037 | Peixe     | Detritívoro |                         |
| <i>Leporinus friderici</i>          | 0,049 | Peixe     | Onívoro     |                         |
| <i>Oreochromis niloticus</i>        | 0,008 | Peixe     | Onívoro     |                         |
| <i>Plagioscion squamosissimus</i>   | 0,049 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Prochilodus argenteus</i>        | 0,008 | Peixe     | Detritívoro |                         |
| <i>Rhomboplites aurorubens</i>      | 0,068 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Serrasalmus rhombeus</i>         | 0,037 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Melanosuchis niger</i>           | 0,784 | Réptil    | Carnívoro   | Correia et al. (2014)   |
| <i>Citharichthys spilopterus</i>    | 0,003 | Peixe     | Carnívoro   | Seixas et al. (2014)    |
| <i>Farfantepenaeus brasiliensis</i> | 0,008 | Crustáceo | Onívoro     |                         |
| <i>Micropogonias furnieri</i>       | 0,002 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Mugil liza</i>                   | 0,031 | Peixe     | Onívoro     |                         |
| <i>Trichiurus lepturus</i>          | 0,008 | Peixe     | Carnívoro   |                         |
| <i>Crassostrea brasiliana</i>       | 0,090 | Molusco   | Filtrador   | Carneiro et al. (2013)  |
| <i>Mytella charruana</i>            | 0,202 | Molusco   | Filtrador   | Higino et al. (2012)    |
| <i>Caiman crocodilus yacare</i>     | 0,360 | Réptil    | Carnívoro   | Vieira et al. (2011)    |
| <i>Podocnemis expansa</i>           | 0,132 | Réptil    | Herbívoro   | Schneider et al. (2010) |
| <i>Podocnemis unifilis</i>          | 0,113 | Réptil    | Herbívoro   |                         |
| <i>Podocnemis sextuberculata</i>    | 0,007 | Réptil    | Herbívoro   | Burger et al. (2010)    |

|                                   |       |           |           |                       |
|-----------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------------------|
| <i>Podocnemis erythrocephala</i>  | 0,002 | Réptil    | Herbívoro |                       |
| <i>Peltocephalus dumerilianus</i> | 0,028 | Réptil    | Herbívoro |                       |
| <i>Ucides cordatus</i>            | 0,130 | Crustáceo | Herbívoro | Vilhena et al. (2003) |

CM = concentração máxima detectada no estudo; NM = não mensurado; NT = nível trófico; UF = unidade da federação.

O processo de bioacumulação de substâncias atinge elevadas concentrações nos altos níveis tróficos, ocorrendo uma maior concentração em espécies predadoras, processo esse conhecido como biomagnificação (Azevedo-Silva et al., 2016; Moura et al., 2018; Bastos et al., 2005). Já espécies presentes na base ou próxima a ela, como os animais de hábito alimentar herbívoro, tendem a apresentar menores concentrações de mercúrio em seus tecidos (Vilhena et al., 2003; Bastos et al. 2005, Burger et al., 2010; Bastos et al., 2015; Lima et al., 2015). Isso pode ser evidenciado no trabalho desenvolvido por Correia et al. (2014), que avaliaram concentrações de mercúrio (Hg) nos músculos de jacarés selvagens (*Melanosuchus niger*) do reservatório Mamirauá, Amazônia brasileira. Os autores reportaram concentração de Hg no músculo de jacarés variando de 0,360 a 0,784  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Tal concentração é superior às encontradas nas demais espécies carnívoras citadas na Tabela 2. Isso está relacionado ao fato de essa espécie ser caracterizada como a maior predadora dos habitats aquáticos da América Continental (Thoisay et al., 2006; Pereira e Malvasio, 2014). Espécimes pertencente ao gênero *Melanosuchus* são oportunistas e generalistas em relação ao hábito alimentar e exercem predação a qualquer animal vivo (e.g. crustáceos, gastrópodes, peixes, moluscos, aves, répteis e mamíferos), inclusive de indivíduos da mesma espécie (Nogueira et al., 2019).

O tempo de exposição, comprimento (Burger et al., 2000; Rumbold et al., 2002), peso (Castilhos et al., 2006; Schneider et al., 2012), idade (Schneider et al., 2012) e sexo (Correia et al., 2014) também podem influenciar e estabelecer uma relação positiva e significativa entre o conteúdo de Hg no músculo de pescado (Correia et al., 2014). Além disso, deve ser levado em consideração e localização geográfica devido às características dos solos que podem influenciar na concentração natural de mercúrio neles presente (Oliveira et al., 2002; Jesus et al., 2018; Carvalho et al., 2019; Miranda et al., 2020), bem como as diferentes formas de metabolização do Hg em cada espécie (Barbosa et al., 2003).

## ESTIMATIVA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO

Devido ao processo de bioacumulação (Rios et al., 2016; Santos et al., 2018), a avaliação da contaminação de pescado por mercúrio é, portanto, um assunto de saúde pública. Normalmente, as avaliações de exposição em humanos são baseadas em uma abordagem determinística, obtendo-se os níveis estimados de ingestão diária (ID) para se avaliar o risco de se consumir um alimento contaminado

(Correia et al., 2014). Desta forma, a ID foi estimada assumindo as menores concentrações como ingestão mínima e as maiores como ingestão máxima para cada grupo trófico conforme os dados de ocorrência reportados na Tabela 2, sendo crustáceo (0,008 e 0,130  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), equinodermo (0,193 e 0,240  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), molusco (0,052 e 0,202  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), peixe (0,002 e 0,670  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), réptil (0,002 e 0,784  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Para o desenvolvimento dos cálculos, assumiu-se também uma massa média corporal de 68 kg (Walpole et al., 2012) e consumo médio de pescado de 20 g  $\text{dia}^{-1}$  para população brasileira (FAO, 2019). A ID foi estimada através da Equação 1.

$$\text{ID } \mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{dia} = \frac{\text{ingestão de pescado } \left(\frac{\text{g}}{\text{dia}}\right) \times \text{mercúrio no pescado } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{kg}}\right)}{\text{massa corporal (kg)}} \quad (1)$$

A Tabela 3 resume a ingestão diária (ID) em termos de concentração mínima e máxima de mercúrio. De acordo com os valores de ID calculados, em termo de exposição de risco, o consumo de pescado apresenta uma ordem decrescente para répteis, peixes, moluscos, equinodermos e crustáceos. Os valores de ID calculados para todos os grupos são inferiores aos preconizados pela Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 42, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que dispõe sobre o regulamento técnico quanto aos limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos (Brasil, 2103). A RDC estabelece um valor de 500  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para crustáceos, moluscos e peixes não predadores e, 1000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  pra peixes predadores. No entanto não estabelece limite máximos para a presença de mercúrio em répteis. O valor não legislado pode estar associado à falta de hábito do consumidor brasileiro em utilizar espécies não convencionais, as chamadas carnes exóticas, para suprimento proteico (Sfaciotte et al., 2015).

**Tabela 4.** Estimativa da Ingestão diária (ID) de mercúrio. Fonte: os autores.

| Grupo        | ID $\mu\text{g kg}^{-1}$ |        |
|--------------|--------------------------|--------|
|              | Mínima                   | Máxima |
| Crustáceos   | 0,0023                   | 0,0382 |
| Equinodermos | 0,0567                   | 0,0705 |
| Moluscos     | 0,0152                   | 0,0594 |
| Peixes       | 0,0005                   | 0,1970 |
| Répteis      | 0,0005                   | 0,2305 |

## CONCLUSÃO

Apesar dos benefícios à saúde, dos avanços na produção e dos incentivos em relação ao consumo de pescado, este se apresenta como uma fonte de exposição humana ao mercúrio. A avaliação dos riscos à saúde associados ao consumo de pescado e exposição ao mercúrio é essencial para apoiar as ações destinadas a garantir um suprimento seguro de alimentos para a população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida L, Campos R (2011). A Systematic study of the brain base arteries in broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*). *Journal of Morphological Sciences*, 28(1): 62-68.
- Anacleto A, Broetto B, Xavier FP, Ferreira KBS (2016). Retail trade of caged crabmeat (*Callinectes* sp) on the coast of Paraná – Brazil. *Business Management Dynamics*, 5(9): 15-21.
- Anderson JL, Valderrama D (2019). Revisão e previsão da produção global de camarão: crescimento estável à frente. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 28-33.
- Aragão JAN, Cintra IHA (2019). Stock assessment of the red spiny lobster *Panulirus argus* in the brazilian coast. *Arquivos de Ciências do Mar*, 51(2): 7-26.
- Azevedo-Silva CE, Almeida R, Carvalho DP, Ometto JPHB, Camargo PB, Dorneles PR, Azeredo A, Bastos WR, Malm O, Torresa JPM (2016). Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 151(1): 286-296.
- Baldisserotto B (2013). *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. 3 ed. UFSM: Santa Maria. 352p.
- Ballester ELC, Marzarotto SA, Castro CS, Frozza A, Pastore I, Abreu PC (2017). Productive performance of juvenile freshwater prawns *Macrobrachium rosenbergii* in biofloc system. *Aquaculture Research*, 48(9): 4748-4755.
- Banci KRS, Mori GM, Oliveira MA, Paganelli FL, Pereira MR, Pinheiro MAA (2017). Can environmental pollution by metals change genetic diversity? *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) as a study case in Southeastern Brazilian mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1): 440-447.
- Barboza RSL, Rebelo GH, Barboza RSL, Pezzuti JCB (2013). Plano de manejo comunitário de jacarés na várzea do baixo rio Amazonas, Santarém - PA, Brasil. *Biotemas*, 26(2): 215-226.
- Barbosa AC, Souza J, Do´Rea JG, Jardim WF, Fadini OS (2003). Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(1): 235-246.

- Bastos WR, Dórea JG, Bernardi JVE, Lauthartte LC, Mussy MH, Lacerda LD, Malm O (2015). Mercury in fish of the Madeira river (temporal and spatial assessment), Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 140(1): 191-197.
- Bastos WR, Gomes JPO, Oliveira RC, Almeida R, Nascimento EL, Bernardi JVE, Lacerda LD, Silveira EG, Pfeiffer WC (2005). Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, 368(1): 344-351.
- Barroso WA, Moura NA (2016). Etnoconhecimento morfológico e ecológico de quelônios (*Podocnemis expansa* e *P. unifilis*) em uma comunidade ribeirinha. *Biota Amazônia*, 6(1): 91-95.
- Bradley MA, Barst BD, Basu N (2017). A review of mercury bioavailability in humans and fish. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2): 1-20.
- Brasil (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da pecuária municipal 2018*. Rio de Janeiro: IBGE. 8p.
- Brasil (2013). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013*. Brasília: ANVISA. 17p.
- Burger J, Jeitner C, Schneider L, Vogt R, Gochfeld M (2010). Arsenic, cadmium, chromium, lead, mercury, and selenium levels in blood of four species of turtles from the Amazon in Brazil. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 73(1): 33-40.
- Burger J, Gochfeld M (2009). Perceptions of the risks and benefits of fish consumption: Individual choices to reduce risk and increase health benefits. *Environmental Research*, 109(3): 343-349.
- Candido M, Tavares LS, Alencar ALF, Ferreira CM, Queiroz SRA, Fernandes AM, Sousa LRM (2019). Genome analysis of *Ranavirus frog virus 3* isolated from American Bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in South America. *Scientific Reports*, 9(1): 1-7.
- Cardoso AMC, Souza AJS, Menezes RC, Souza NF, Pereira WLA, Tortelly R (2018). Hepatic and renal lesions in free ranging black caimans (*Melanosuchus niger*) in the Brazilian Amazon for human consumption. *Acta Scientiae Veterinariae*, 46(1): 1-5.
- Carneiro CS, Mársico ET, Ribeiro ROR, Jesus EFO (2013). Total mercury bioaccumulation in tissues of carnivorous fish (*Micropogonias furnieri* and *Cynoscion acoupa*) and oysters (*Crassostrea brasiliana*) from Sepetiba Bay, Brazil. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22(1): 96-102.
- Carvalho GS, Oliveira JR, Curi N, Schulze DG, Marques JJ (2019). Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. *Chemosphere*, 218(1): 412-415.
- Chahid A, Hilali M, Benlhachimi A, Bouzid T (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 147(1): 357-360.



- Chowdhury S (2018). Human health risk from exposure to metals through fish and shellfish ingestion in Saudi Arabia. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 1(1): 1-19.
- Correia J, Cesar R, Marsico E, Diniz GTN, Zorro MC, Castilhos Z (2014). Mercury contamination in alligators (*Melanosuchus niger*) from Mamirauá Reservoir (Brazilian Amazon) and human health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(1): 13522-13527.
- Côrtes LHO, Zappes CA, Beneditto APMD (2019). Sustainability of mangrove crab (*Ucides cordatus*) gathering in the southeast Brazil: a MESMIS-based assessment. *Ocean & Coastal Management*, 179(1): 1-10.
- Costa FN, Korn MGA, Brito GB, Ferlin S, Fostier AH (2016). Preliminary results of mercury levels in raw and cooked seafood and their public health impact. *Food Chemistry*, 192(1): 837-841.
- Costa BGB, Lacerda LD (2014). Mercury (Hg) in fish consumed by the local population of the Jaguaribe River lower basin, Northeast Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(1): 13335-13341.
- Engwa GA, Ferdinand PU, Nwalo FN, Unachukwu MN (2018). Mechanism and health effects of heavy metal toxicity in humans. In: Karcioğlu O, Arslan B (Eds.). *Poisoning in the Modern World—New Tricks for an Old Dog? Turquia: Intech Open*, 1(1): 1-23.
- Ezemonye LI, Adebayo PO, Enuneku AA, Tongo I, Ogbomida E (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*) and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River. *Nigeria. Toxicology Reports*, 6(1): 1-9.
- Fantin C, Machado-Andrade PC, Pires-Farias I, Pereira DIM (2018). Mirroring-in nature? Comparison of kinship analysis in clutches of the endangered giant Amazon River turtle, *Podocnemis expansa* (Chelonia: Podocnemididae) in both captivity and natural habitat. *Latin American journal of aquatic research*, 46(2): 346-354.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture: sustainability in action*. 1 ed. FAO: Rome. 224p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Fishery and aquaculture statistics*. 1 ed. FAO: Rome. 108p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture: meeting the sustainable development goals*. 1 ed. FAO: Rome. 227p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of The United Nations (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture: contributing to food security and nutrition for all*. 1 ed. FAO: Rome. 200p.
- Ferreira RCP, Nunes DM, Shinozaki-Mendes RA, Pires AMA, Hazin FHV (2016). First record and preliminary information on the biology of the deep-sea African crab, *Chaceon gordonae* (Ingle, 1985) (Brachyura: Geryonidae) in Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2): 392-400.

- Gabriel, FA, Hauser-Davis RA, Soares LOS, Mazzuco ACA, Rocha RCC, Saint'Pierre TD, Saggiore EM, Correia FV, Ferreira TO, Bernardino AF (2020). Metal contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following a mine tailing disaster. *bioRxiv*, 1(1): 1-28.
- Gaeta J, Cruz R (2019). Distribution and density of lobsters in the Brazilian oceanic ecosystem Rocas Atoll. *Crustaceana*, 92(3): 335-351.
- Higino PAS, Jesus TB, Carvalho CEV, Tonial LSS, Calado TCS (2012). Variação sazonal de mercúrio total em sururus (*Mytella charruana*, Orbigny, 1842) de uma Laguna Tropical, NE, Brasil. *Revista Virtual de Química*, 4(4): 393-404.
- Holland J (2019). Comércio global de pescado deve aumentar, mas as taxas de crescimento diminuirão. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 34-35.
- Iketani G, Aviz MAB, Maciel C, Valenti W, Schneider H, Sampaio I (2016). Successful invasion of the Amazon Coast by the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii*: evidence of a reproductively viable population. *Aquatic Invasions*, 11(3): 277-286.
- Jabeen G, Javed M, Azmat H (2012). Assessment of heavy metals in the fish collected from the river Ravi, Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 32(1): 107-111.
- Jaiswal A, Verma A, Jaiswal P (2018). Detrimental effects of heavy metals in soil, plants, and aquatic ecosystems and in humans. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 37(3): 183-197.
- Jara-Marini ME, Molina-García A, Martínez-Durazo A, Páez-Osuna F (2019). Trace metal trophic transference and biomagnification in a semiarid coastal lagoon impacted by agriculture and shrimp aquaculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(1): 5323-5336.
- Jesus LDF, Moreira MFR, Azevedo SV, Borges RM, Gomes RAA, Bergamini FPB, Teixeira LR (2018). Evaluación de los niveles de plomo y mercurio en población expuesta ambientalmente en la región centro-oeste de Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, 34(2): 1-13.
- Kitahara SE, Okada IA, Sakuma AM, Zenebon O, Jesus RS, Tenuta Filho A (2000). Mercúrio total em pescado de água-doce. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20(2): 267-273.
- Kvasnicka J, Stylianou KS, Nguyen VK, Huang L, Chiu WA, Burton Jr. GA, Semrau J, Jolliet O (2019). Human health benefits from fish consumption vs. risks from inhalation exposures associated with contaminated sediment remediation: dredging of the Hudson River. *Environmental Health Perspectives*, 127(12): 1-13.
- Lappano R, Malaguarnera R, Belfiore A, Maggiolini M (2017). Recent advances on the stimulatory effects of metals in breast cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 457(1): 49-56.
- Lavradas RT, Hauser-Davis RA, Lavandier RC, Rocha RCC, Saint'Pierre TD, Seixas T, Kehrig HÁ, Moreira I (2019). Metal, metallothionein and glutathione levels in blue crab (*Callinectes* sp.) specimens from southeastern Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 107(1): 55-60.

- Li W, Wang WX (2019). In vivo oral bioavailability of fish mercury and comparison with in vitro bioaccessibility. *Science of The Total Environment*, 683(1): 648-658.
- Lima SAO, Andrade HA (2017). Variações nas capturas das lagostas vermelha (*Panulirus meripurpuratus*), verde (*Panulirus laevicauda* Latreille, 1817) e sapata (*Scyllarides brasiliensis* Rathbun, 1906) na costa de Pernambuco. *Boletim do Instituto da Pesca*, 43: 194-206.
- Lima DP, Santos C, Silva RS, Yoshioka ETO, Bezerra RM (2015). Heavy metal contamination in fish and water from Cassiporé River basin, State of Amapá, Brazil. *Acta Amazonica*, 45(4): 405-414.
- Lopes LR, Silva GLP, Gonçalves MLNS, Hereros MMA, Silva FL (2020). Dimensões associadas ao consumo de pescado na região metropolitana de Belém - PA. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, 1(1): 1-19.
- Lopes IG, Oliveira RG, Ramos FM (2016). Profile of fish consumption by the Brazilian population. *Biota Amazônia*, 6(2): 62-65.
- Lopes IG, Oliveira RG, Ramo FM (2015). Perfil do consumo de peixes pela população brasileira. *Biota Amazônia*, 6(2): 62-65.
- Mai J, Cachot J, Brune J, Geffard O, Belles A, Budzinski H, Morin B (2012). Embryotoxic and genotoxic effects of heavy metals and pesticides on early life stages of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Marine Pollution Bulletin*, 64(12): 2663-2670.
- Mateus WD, Higuchi MIG (2018). Structural processes of management and conservation of wildlife at risk of extinction: Amazonian cases. *Sustentabilidade em Debate*, 9(3): 64-78.
- Maurya PK, Malik DS, Yadav KK, Kumar A, Kumar S, Kamyab H (2019). Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. *Toxicology Reports*, 6(1): 472-481.
- Mert R, Alas A, Bulut S, Özcan MM (2014). Determination of heavy metal contents in some freshwater Fishes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11): 8017-8022.
- Miranda JF, Curi A, Lima HM (2020). Estimation of mercury released from an abandoned gold mine in Minas Gerais, Brazil. *Revista Escola de Minas*, 73(1): 109-117.
- Moiseenko TI, Kudryavtseva LP (2011). Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola region, Russia. *Environmental Pollution*, 114(2): 285-297.
- Molina MM, Yedra DM (2018). Evidence of overfishing and poor management of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in Lake Maracaibo, Venezuela. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 11 (1): 81-100.
- Montanhini MTM, Neto RM (2015). Changes in the microbiological quality of mangrove oysters (*Crassostrea brasiliensis*) during different storage conditions. *Journal of Food Protection*, 78(1): 164-171.

- Monteiro JV, Norões AKM, Araújo RCP, Araújo JÁ, Silva FP (2019). Metafrontier production and technical efficiency of shrimp farming in the States of Ceará and Rio Grande do Norte. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(4): 530-544.
- Moura VL, Costa BB, Lacerda LD (2018). Distribuição de mercúrio na fauna estuarina do rio Jaguaribe – CE. *Arquivos de Ciências do Mar*, 51(1): 49-56.
- Mozaffarian D, Lemaitre RN, Kuller LH, Burke GL, Tracy RP, Siscovick DS (2003). Cardiac benefits of fish consumption may depend on the type of fish meal consumed. *Circulation*, 107(10): 1372-1377.
- Nascimento DM, Alves RRN, Barboza RRD, Schmidt AJ, Diele K, Mourão JS (2017). Commercial relationships between intermediaries and harvesters of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) in the Mamanguape River estuary, Brazil, and their socio-ecological implications. *Economia Ecológica*, 131(1): 44-51.
- Negrini C, Castro CS, Bittencourt-Guimarães, AT, Frozza A, Ortiz-Kracizy R, Cupertino-Ballester EL. Stocking density for freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda, *Palaemonidae*) in biofloc system. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(5): 891-899.
- Nogawa K, Sakurai M, Ishizaki M, Kido T, Nakagawa H, Suwazono Y (2017). Threshold limit values of the cadmium concentration in rice in the development of itai-itai disease using benchmark dose analysis. *Journal of Applied Toxicology*, 37(8): 962–966.
- Nogueira WV, Dias MIS, Hurtado FB, Pontuschka RB (2019). Exploração de crocodilianos no Brasil: sistemas de produção e recursos humanos. *Bioenergia em revista: diálogos*, 9(1): 09-32.
- Nogueira WV (2016). Caracterização da pesca lagosteira: impactos e empasses relacionados a proibição da atividade pesqueira. *Revista Científica Semana Acadêmica*, 89(1): 1-16.
- Nunes AJP, Sabry-Neto H, Silva FHP, Oliveira-Neto AR, Masagounder K (2019). Múltiplas refeições promove um melhor desempenho zootécnico em juvenis do *Litopenaeus vannamei*. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 22-25.
- Öksüz A (2012). Comparison of meat yield, flesh colour, fatty acid, and mineral composition of wild and cultured Mediterranean amberjack (*Seriola dumerili*, Risso 1810). *Journal of Fisheries Sciences.com*, 6(2): 164-175.
- Oliveira AGJ, Neto R (2019). Cultivo de camarão marinho em águas de baixa salinidade: uma realidade na carcinicultura com o camarão marinho *L. vannameina* Paraíba. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 6(1): 53-56.
- Oliveira MGX, Pressinotti LN, Carvalho GS, Oliveira MCV, Moreno LZ, Matajira CEC, Bergamo AS, Aleixo VM, Veiga AC, Corsino ES, Christ APG, Sato MIZ, Moreno AM, Knöb T (2017).

- Arcobacter spp. in fecal samples from Brazilian farmed caimans (*Caiman yacare*, Daudin 1802), 49(1): 777-782.
- Oliveira SMB, Larizzatti JH, Favaro DIT (2002). Comportamento do mercúrio e outros elementos-traço em solos lateríticos da província aurífera do Tapajós. *Geochimica Brasiliensis*, 16(1): 1-14.
- Ossana NA, Eissa BL, Baudou FG, Castañé PM, Soloneski S, Ferrari L. Multibiomarker response in ten spotted live-bearer fish *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns, 1842) exposed to Reconquista river water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133(1): 73-81.
- Pan K, Wang WX (2011). Mercury accumulation in marine bivalves: Influences of biodynamics and feeding niche. *Environmental Pollution*, 159(10): 2500-2506.
- Peixe BR - Associação Brasileira Da Piscicultura. *Anuário da Piscicultura 2019*. Peixe BR: Pinheiro, Brasil. 148p.
- Pereira AC, Malvasio A (2014). Síntese das características da ordem Crocodylia, fatores de influência em estudos populacionais e aspectos de seleção e uso de habitat para *Caiman crocodilus* e *Melanosuchus niger* no Estado do Tocantins, Brasil. *Biota Amazônia*, 4(1): 111-118.
- Pignati MT, Pezzuti JCB, Souza LC, Lima MO, Pignati WA, Mendes RA (2018). Assessment of mercury concentration in turtles (*Podocnemis unifilis*) in the Xingu River Basin, Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1): 1-11.
- Pyle GG, Rajotte JW, Couture P (2005). Effects of industrial metals on wild fish populations along a metal contamination gradient. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 61(3): 287-312.
- Rajeshkumar S, Liu Y, Zhang X, Ravikumar B, Bai G, Li X (2018). Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. *Chemosphere*, 191(1): 626-638.
- Rejomon G, Nair M, Joseph T (2010). Trace metal dynamics in fishes from the Southwest Coast of India. *Environmental Monitoring Assessment*, 167(4): 243-255.
- Repula CMM, Campos BK, Ganzarolli EM, Lopes MC, Quináia SQ (2012). Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de água doce. *Química Nova*, 35(5): 905-909.
- Ricketts P, Voutchkov M, Chan HM (2020). Risk-benefit assessment for total mercury, arsenic, selenium, and omega-3 fatty acids exposure from fish consumption in Jamaica. *Biological Trace Element Research*, 197(1): 262-270.
- Rios JHL, Marins RV, Oliveira KF, Lacerda LD (2016). Long-term (2002–2015) changes in mercury contamination in NE Brazil depicted by the mangrove oyster *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 97(1): 474-479.

- Rodrigues MA, Ortega I, D'Incao F (2019). The importance of shallow areas as nursery grounds for the recruitment of blue crab (*Callinectes sapidus*) juveniles in subtropical estuaries of Southern Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 25(1): 1-27.
- Sakamoto M, Itai T, Murata K (2017). Effects of prenatal methylmercury exposure: from Minamata disease to environmental health studies. *Nihon eiseigaku zasshi. Japanese journal of hygiene*, 72(3): 140-148.
- Salazar ISO, Cruz R (2019). Age and growth of the commercial spiny lobsters *Panulirus argus* (Latreille, 1804) and *Panulirus laevicauda* (Latreille, 1817) (Decapoda, *Palinuridae*) in Northeast Brazil: a review. *Crustaceana*, 92(7): 767-788.
- Santos AL, Medeiros JVF, Gault CE, Santos MJS, Souza ALA, Carvalho RW (2020). The fungus *Pestalotiopsis* sp., isolated from *Perna perna* (Bivalvia: *Mytilidae*) cultured on marine farms in Southeastern Brazil and destined for human consumption. *Marine Pollution Bulletin*, 153(1): 1-4.
- Santos RT, Neto FSC, Oliveira E, Carvalho Filho MAS, Vasconcelos EC (2018). Diagnóstico inicial da presença de metais pesados em sedimento e em organismos bentônicos da ilha de Itacolomi, PR. *Ambiência*, 14(3): 461-476.
- Santos FWB (2007). *Nutrição de peixes de água doce: definições, perspectivas e avanços científicos*. 1 ed. UFC: Rio de Janeiro, Brasil. 36p.
- Schneider L, Belger L, Burger J, Vogt RC, Ferrara CR (2010). Mercury levels in muscle of six species of turtles eaten by people along the Rio Negro of the Amazon Basin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 58(1): 444-450.
- Siedlikowski M, Bradley M, Kubow S, Goodrich JM, Franzblau A, Basu N (2016). Bioaccessibility and bioavailability of methylmercury from seafood commonly consumed in North America: In vitro and epidemiological studies. *Environmental Research*, 149(1): 266-273.
- Severino-Rodrigues E, Soares FC, Graça-Lopes R, Souza KH, Canéo VOC (2009). Diversidade e biologia de espécies de Portunidae (Decapoda, Brachyura) no Estuário de Iguape, Ilha Comprida e Cananéia, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto da Pesca*, 35(1): 47-60.
- Seves SM, Temme EHM, Brosens MCC, Zijp MC, Hoekstra J, Hollander A (2016). Sustainability aspects and nutritional composition of fish: evaluation of wild and cultivated fish species consumed in the Netherlands. *Climatic Change*, 135(1):597-610.
- Sfaciotte RAP, Vignoto VKC, Cardozo RM, Munhoz PM, Pinto AA, Wosiacki SR, Ferraro GC, Barbosa MJP (2015). Evaluation of microbiology and nutritive quality of exotic meats. *Ciências Agrárias*, 36(2): 839-848.

- Siqueira TV (2018). Aquicultura: a nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. *Boletim regional, urbano e ambiental*, 17(1): 53-60.
- Soares LS, Vieira ACF, Fidler F, Nandi LG, Monteiro AR, Luccio MD (2020). volatile organic compounds profile obtained from processing steps of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) as perspective for food industry. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 1(1): 1-13.
- Sonoda DY, Shiota R (2012). Consumo de pescado no Brasil fica abaixo da média internacional. *Visão Agrícola*, 11(1): 1-3.
- Souza-Araujo J, Giarrizzo T, Lima MO (2015). Mercury concentration in different tissues of *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848) (Podocnemididae: Testudines) from the lower Xingu River – Amazonian, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75(3): 106-111.
- Thoisay BDE, Hrbek T, Farias IP, Vasconcelos WR, Lavergne A (2006). Genetic structure, population dynamics, and conservation of black caiman (*Melanosuchus niger*). *Biological Conservation*, 1(33): 474-482.
- Vélez EJ, Lutfi E, Azizi SH, Perelló M, Salmerón C, Rieracodina M, Ibarz A, Fernández-Borràs J, Blasco J, Capilla E, Navarro I, Gutiérrez J (2017). Understanding fish muscle growth regulation to optimize aquaculture production. *Aquaculture*, 467(1): 28-40.
- Vieira LM, Nunes VS, Amaral MCA, Oliveira AC, Hauser-Davis RA, Campos RC (2011). Mercury and methyl mercury ratios in caimans (*Caiman crocodilus yacare*) from the Pantanal area, Brazil. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(1): 280-287.
- Vidal MF, Ximenes LF (2019). Produção de pescados na área de atuação do BNB. *Caderno Setorial do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste*, 91(1): 1-18.
- Vilhena MPSP, Costa ML, Bêrredo JF, Sá GC, Costa AM, Santos EO, Brabo ES (2003). Mercúrio em sedimentos de mangues, caranguejos (*Ucides cordatus*) e cabelos humanos em torno dos manguezais do nordeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*, 17(2): 121-129.
- Virga RHP, Geraldo LP, Santos FH (2007). Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, 27(4): 779-785.
- Vitek T, Spurny P, Mares J, Zikova A (2007). Heavy metal contamination of the Loucka River water ecosystem. *Acta Veterinaria Brno*, 76(1): 149-154.

**A**

ácidos fenólicos, 18, 20, 53, 65  
aditivos alimentares, 46, 47, 48, 49, 53, 54, 65,  
70, 71, 74  
agentes de corpo, 46, 47, 48, 53, 65  
anfíbios, 30, 85, 86  
antifúngicos, 7, 20, 21, 23  
antioxidantes, 18, 20, 21, 46, 48, 49, 50, 51, 52,  
53, 54, 64, 65, 66, 67, 70  
aquicultura, 17, 18, 25, 85, 87, 89  
aromas, 48, 55, 65, 70

**B**

bioacumulação, 86, 92  
biomagnificação, 92

**C**

cereais, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 21, 23, 39  
consumo, 8, 16, 30, 31, 32, 33, 36, 37, 38, 39,  
43, 47, 53, 59, 70, 75, 85, 86, 89, 93, 94, 98  
contaminantes inorgânicos, 85, 93  
corantes, 46, 59  
crustáceos, 30, 85, 86, 87, 88, 92, 93

**E**

equinodermos, 30, 85, 93

**F**

fontes naturais emergentes, 49  
fumonisinas, 7, 12, 15, 16, 22, 23, 31, 36, 41  
*Fusarium*, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 21, 22, 23, 24,  
25, 26, 27, 28, 29, 31, 40, 42, 45

**I**

ingestão, 8, 16, 20, 30, 36, 37, 38, 39, 47, 64,  
71, 92, 93

**M**

metabólitos secundários, 12, 13, 31, 55  
microalgas, 6, 7, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25,  
48, 54  
moluscos, 30, 85, 86, 92, 93

**N**

*Nannochloropsis*, 17, 18, 22, 23, 28, 29

**P**

países desenvolvidos, 31, 37  
peixe, 30, 31, 33, 36, 37, 39, 93  
pesca extrativa, 85, 87  
proteína animal, 30

**R**

ração, 32, 33, 34, 36, 37, 39  
regulamentação, 47, 74, 75  
répteis, 30, 85, 86, 92, 93

**S**

*Spirulina*, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29,  
60, 76, 80

**T**

tricotecnos, 7, 12, 13, 14, 22, 23, 32





**ID Wesclen Vilar Nogueira**

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

ISBN 978-658831904-8



**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](mailto:contato@editorapantanal.com.br)