

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. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Dra. Patrícia Maurer
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI

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

Conselho Técnico Científico

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

Ficha Catalográfica

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

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

Pantanal Editora

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

APRESENTAÇÃO

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

Apresentação	5
Capítulo I.....	6
Mitigação da contaminação fúngica e produção de micotoxinas em cultivos de trigo e milho pela aplicação de extratos de microalgas.....	6
Capítulo II	30
Micotoxinas em pescado: ocorrência e risco de exposição.....	30
Capítulo III	46
Aditivos alimentares naturais emergentes: Uma revisão	46
Capítulo IV	85
Metal pesado em pescado: a presença do mercúrio como agente contaminante	85
Índice Remissivo.....	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^{1*} 

Eliana Badiale Furlong² 

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

¹ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.

² 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 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.

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 à saúde humana e animal associada à 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 à 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 α -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.

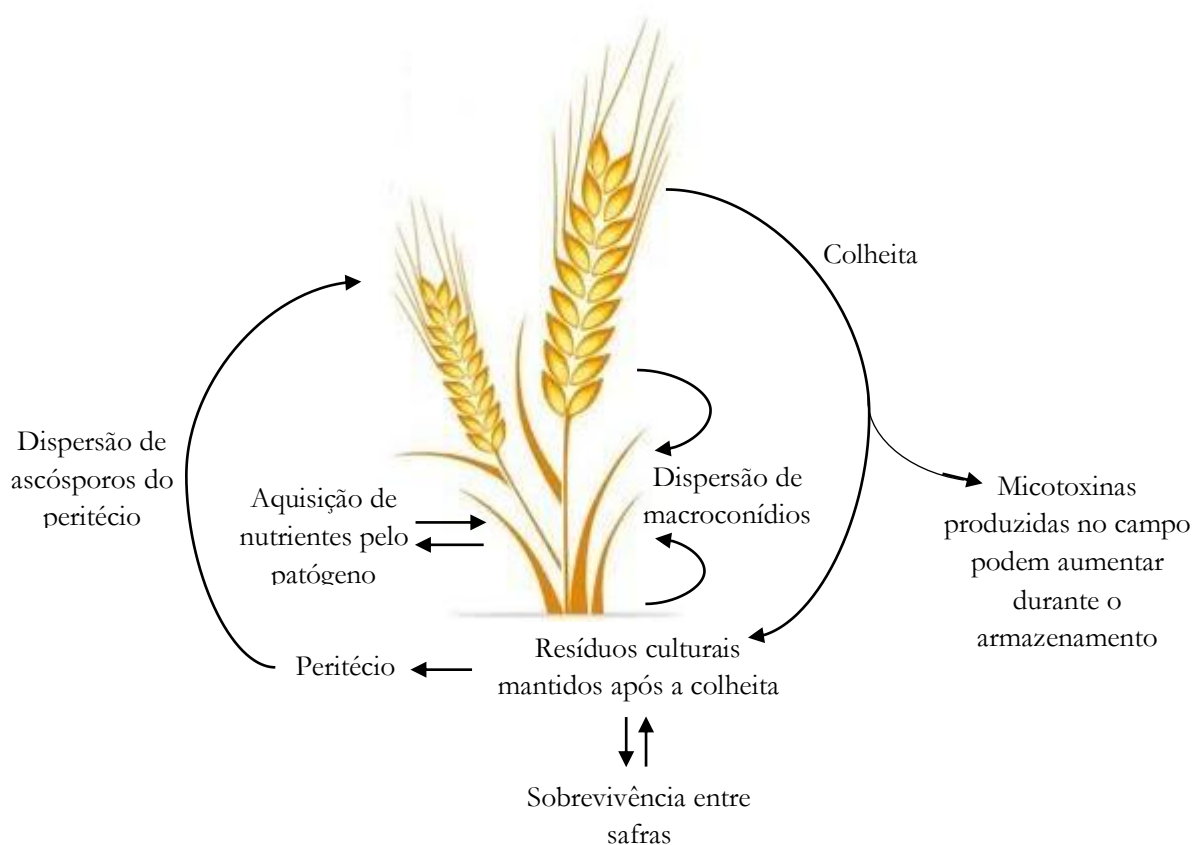


Figura 1. Ciclo da doença causada por *Fusarium graminearum* no trigo. Fonte: Adaptado de Astolfi (2010).

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).

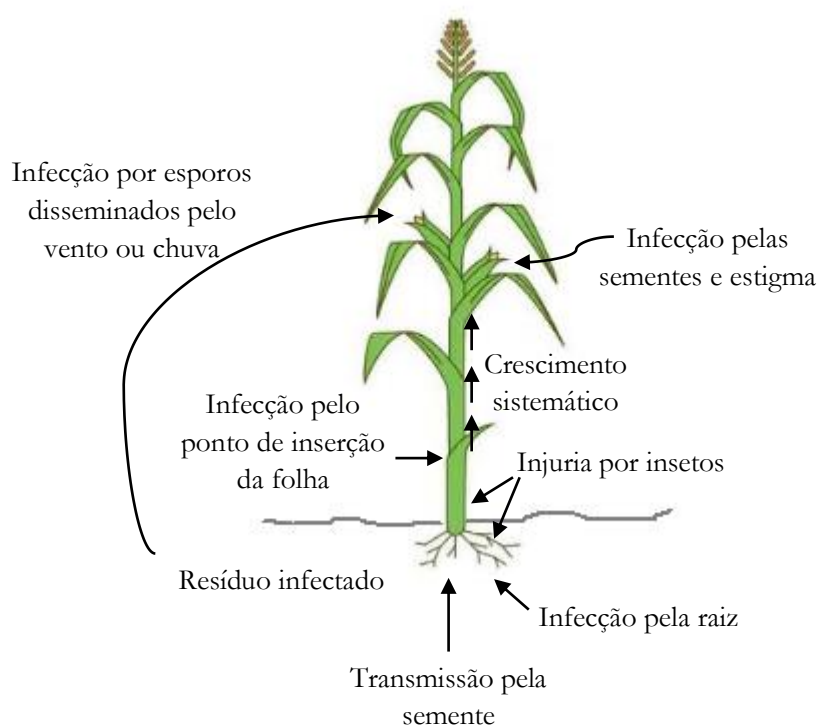


Figura 2. Ciclo da fusariose em milho com diferentes vias de infecção. Fonte: Adaptado de Munkvold e Desjardins (1997).

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 (Dalcero 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).

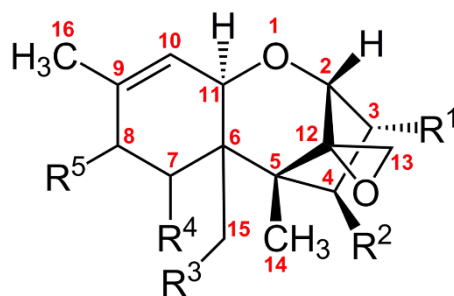


Figura 3. Substituintes da estrutura química dos principais tricotecenos. Fonte: Adaptador de Shima et al. (1997).

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 B₁ (FB₁) (Seo; Lee, 1999).

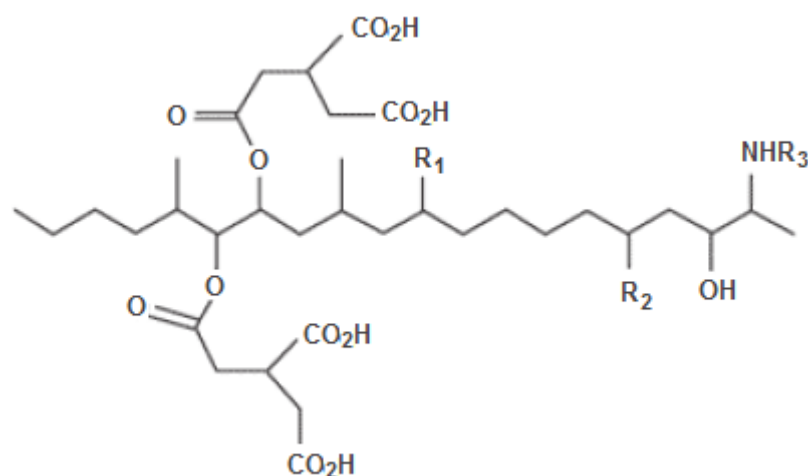


Figura 4. Estrutura química das principais fumonisinas. Fonte: Adaptado de Minami et al. (2004).

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

Fumonisina	R ₁	R ₂	R ₃
B ₁	OH	OH	H
B ₂	H	OH	H
B ₃	OH	H	H
B ₄	H	H	H
A ₁	OH	OH	CH ₂ CO
A ₂	H	OH	CH ₂ CO

A estrutura química da FB₁, um diester de ácido tricarbalílico 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 B₁ + B₂ em alimentos como milho em grão para posterior processamento (5000 µg kg⁻¹), milho de pipoca (2000 µg kg⁻¹), farinha de milho, creme de milho, fubá, flocos, canjica e canjiquinha (1500 µg kg⁻¹), amido de milho e produtos à base de milho (1000 µg kg⁻¹), e alimentos à base de milho para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância) (200 µg kg⁻¹) (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 FB₁ 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 FB₁ pode causar edema pulmonar e hidrotórax (Dilkin et al., 2003). Além disso, estudos têm demonstrado que a exposição à FB₁ 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 esfingolipídeos, 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 CO₂ e produzindo O₂ (Borges et al., 2007). Seu cultivo pode ser uma alternativa para minimizar o aumento do efeito estufa, seja pela captação do CO₂ 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 CO₂ 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 *Ochrophyta*, 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 α e carotenoides, respectivamente. Baixas taxas de crescimento da espécie são atribuídas ao excesso de nutrientes no meio de cultivo. Quanto a especiação 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 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 mg mL^{-1} , respectivamente; e 5,2; 12,2 e 70,3% para os extratos em hexano nas concentrações de 1; 5 e 10 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 α -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 α , que tem seu peso variando entre 0,8 e 1,5% do peso seco. É considerada excelente fonte de pró-vitamina A (β -caroteno) e de ferro biodisponível, além de outros minerais, compostos fenólicos, ficocianina, ácido γ -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 BF₃ 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⁻¹. 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⁻¹ µg⁻¹ (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 B₁ 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⁻¹ para 6,1 mg g⁻¹ 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⁻¹ 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⁻¹ (*Spirulina* sp.) e 0,78 cm dia⁻¹ (*Nannochloropsis* sp.). Valores de concentração efetiva máxima (EC₅₀) iguais a 49,6 µg mL⁻¹ e 33,9 µg mL⁻¹ 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⁻¹ 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°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 consequente 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 B₁ 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 B₁ 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.
- Dalcero 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 in 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 B₁ and fumonisin B₁-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 B₁ 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 B₁ and B₂ 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 B₁ 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-Buffon 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). Assessment 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.

ÍNDICE REMISSIVO

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



 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