

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
CENTRO DE EXCELÊNCIA EM BIOINSUMOS
COORDENAÇÃO DE CAPACITAÇÃO EM BIOINSUMOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *lato sensu* EM BIOINSUMOS
IF GOIANO CAMPUS MORRINHOS - GO**

MARCELA MONIZE OLIVEIRA DE FARIA PIRES

O USO DE MICRORGANISMOS NA MITIGAÇÃO DE MICOTOXINAS

MORRINHOS, GO

2026

MARCELA MONIZE OLIVEIRA DE FARIA PIRES

O USO DE MICRORGANISMOS NA MITIGAÇÃO DE MICOTOXINAS

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos do Instituto Federal Goiano como exigência parcial para obtenção do título de especialista em Bioinsumos.

Orientador: Prof. Dr. Erasmo Ribeiro da Paz Filho

MORRINHOS, GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**


P667u Pires, Marcela Monize Oliveira de Faria
O USO DE MICRORGANISMOS NA MITIGAÇÃO DE
MICOTOXINAS / Marcela Monize Oliveira de Faria Pires.
Morrinhos 2026.
25f.
Orientador: Prof. Dr. Erasmo Ribeiro da Paz Filho.
Monografia (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de
0430426 - Especialização em Bioinsumos - Morrinhos (Campus
Morrinhos).
1. Micotoxinas. 2. Microrganismos. I. Título.

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) 3 CEBIO/IF Goiano

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO


Aos 23 dias do mês de março de dois mil e vinte e seis, às 19 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Dr. Erasmo Ribeiro da Paz Filho (orientador), Prof. Dra Aline Brito Vaz (membro interno), Prof. Dra. Tenille Ribeiro de Souza (membro interno), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado Uso de microrganismos na mitigação de micotoxinas: Revisão de literatura de Marcela Monize Oliveira de Faria Pires, estudante do curso de Especialização em Bioinsumos do IF Goiano – Campus Morrinhos, sob Matrícula nº 2024104304260022. A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Campus Morrinhos, 23 de março de 2026.

Documento assinado digitalmente
 ERASMO RIBEIRO DA PAZ FILHO
Data: 30/03/2026 08:06:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


(Assinado eletronicamente)

Erasmo Ribeiro da Paz Filho
Orientador

Documento assinado digitalmente
 ALINE BRITO VAZ
Data: 11/04/2026 14:12:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Aline Brito Vaz
Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 TENILLE RIBEIRO DE SOUZA
Data: 10/04/2026 14:20:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Assinado eletronicamente)

Tenille Ribeiro de Souza
Membro da Banca Examinadora

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

MARCELA MONIZE OLIVEIRA DE FARIA PIRES

Matrícula:

2024104304260022

Título do trabalho:

O USO DE MICRORGANISMOS NA MITIGAÇÃO DE MICOTOXINAS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 27 / 04 / 2026


O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
 MARCELA MONIZE OLIVEIRA DE FARIA PIRES
Data: 28/04/2026 16:45:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MORRINHOS

Local

27 / 04 / 2026

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente



ERASMO RIBEIRO DA PAZ FILHO
Data: 27/04/2026 17:38:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico essa monografia a minha filha que foi gerada enquanto eu concluía esse curso e nasceu durante a execução desse trabalho, Luísa Hortênsia quero que você saiba que sua mãe sempre foi curiosa e inquieta na arte de aprender e espero que você cresça se espelhando nisso.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que fizeram parte desta jornada durante a pós-graduação *lato sensu* em Bioinsumos. Ao Prof. Dr. Erasmo Ribeiro da Paz Filho, meu orientador, agradeço o apoio incondicional, orientação dedicada e por compartilhar conhecimento com generosidade. Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos-GO, FAPEG, FUNAPE e CEBIO que proporcionaram um ambiente acolhedor de aprendizado, infraestrutura de excelência e oportunidades que possibilitaram a execução deste curso, sendo o primeiro no Brasil, nos tornamos pioneiros nessa jornada e tenho orgulho de ter participado da primeira turma.

Estendo meus agradecimentos aos colegas, familiares e todos que contribuíram para esta conquista, reforçando a importância da colaboração e do incentivo mútuo ao longo desta trajetória.



BIOGRAFIA DO ALUNO

Engenheira Agrônoma graduada pelo Centro Universitário Brasília do Estado de Goiás em 2020 e Tecnóloga em Redes de Computadores pela Universidade Estadual de Goiás em 2009.

Com experiência em Agricultura de Precisão, após trabalhar em uma usina de álcool e açúcar, com destaque para piloto automático, computador de bordo, controle de abastecimento, dentro outros.

Após trabalhar alguns anos na área comercial em revendas agrícolas na região de Edéia e Acreúna, atualmente é funcionária pública federal da Caixa Econômica Federal e agricultora há 2 anos, que se dedica ao cultivo de soja e milho.

Trajetória feita com trabalho e dedicação e sempre procurando novos conhecimentos, acompanhando as inovações no mercado e melhorando continuamente seu currículo.

RESUMO

As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por fungos filamentosos como *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* na fase pós-colheita, que contaminam grãos, cereais e outros alimentos de origem vegetal, representando sérios riscos à saúde humana e animal, além de prejuízos econômicos significativos. Diante das limitações dos métodos físicos e químicos convencionais para controle dessas toxinas, o uso de microrganismo emerge como uma alternativa biotecnológica promissora e sustentável. Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo foi analisar o uso de microrganismos na mitigação de micotoxinas, enfatizando seus mecanismos de ação, eficácia e potencial de aplicação na cadeia produtiva de alimentos e rações. A metodologia adotada consistiu em uma revisão bibliográfica de caráter descritivo e analítico, baseada na seleção de artigos científicos, livros e documentos técnicos publicados em bases de dados reconhecidas, como Scopus, PubMed e SciELO. Foram incluídos estudos que abordassem a utilização de bactérias, leveduras e fungos com capacidade de adsorção, biotransformação ou degradação de micotoxinas, priorizando publicações dos últimos anos. A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, buscando identificar padrões, resultados recorrentes e lacunas no conhecimento científico sobre o tema. Os principais resultados evidenciam que diversos microrganismos apresentam elevada eficiência no controle de micotoxinas. Bactérias ácido-láticas, como *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, demonstram capacidade de adsorver micotoxinas em suas paredes celulares, reduzindo sua biodisponibilidade. Leveduras, especialmente *Saccharomyces cerevisiae*, destacam-se pela ligação física às toxinas e pela aplicação prática como aditivos em rações. Além disso, determinados microrganismos possuem enzimas específicas capazes de degradar micotoxinas em compostos menos tóxicos, como observado em espécies bacterianas e fúngicas com atividade biotransformadora. Os estudos analisados indicam redução significativa da toxicidade, melhoria da segurança alimentar e menor impacto ambiental quando comparados aos métodos tradicionais. Conclui-se que o uso de microrganismos na mitigação de micotoxinas constitui uma estratégia eficaz, segura e ambientalmente sustentável, com grande potencial para aplicação industrial. Apesar dos avanços, ainda são necessários estudos adicionais para padronização de cepas, avaliação da estabilidade dos microrganismos em diferentes matrizes alimentares e validação em escala industrial. Assim, a biotecnologia microbiana representa um campo estratégico para o desenvolvimento de soluções inovadoras no controle de micotoxinas e na promoção da segurança alimentar.

Palavras-chave: Micotoxinas. Biocontrole. Microrganismos.

ABSTRACT

Mycotoxins are secondary metabolites produced by filamentous fungi such as *Aspergillus*, *Fusarium*, and *Penicillium* that contaminate grains, cereals, and other plant-based foods, posing serious risks to human and animal health as well as significant economic losses. Given the limitations of conventional physical and chemical methods for mycotoxin control, the use of microorganisms has emerged as a promising and sustainable biotechnological alternative. In this context, the general objective of this study was to analyze the use of microorganisms in combating mycotoxins, emphasizing their mechanisms of action, effectiveness, and potential application within the food and feed production chain. The methodology consisted of a descriptive and analytical literature review based on the selection of scientific articles, books, and technical documents published in recognized databases such as Scopus, PubMed, and SciELO. Studies addressing the use of bacteria, yeasts, and fungi with the capacity for adsorption, biotransformation, or degradation of mycotoxins were included, with priority given to recent publications. Data analysis was conducted qualitatively in order to identify patterns, recurring findings, and gaps in the scientific knowledge on the subject. The main results indicate that several microorganisms exhibit high efficiency in mycotoxin control. Lactic acid bacteria, such as *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*, demonstrate the ability to adsorb mycotoxins on their cell walls, thereby reducing their bioavailability. Yeasts, particularly *Saccharomyces cerevisiae*, stand out for their physical binding to toxins and their practical application as feed additives. In addition, certain microorganisms possess specific enzymes capable of degrading mycotoxins into less toxic compounds, as observed in bacterial and fungal species with biotransformation activity. The analyzed studies report significant reductions in toxicity, improved food safety, and lower environmental impact when compared to traditional methods. It is concluded that the use of microorganisms in combating mycotoxins represents an effective, safe, and environmentally sustainable strategy with great potential for industrial application. Despite these advances, further studies are required to standardize microbial strains, evaluate their stability in different food matrices, and validate their effectiveness on an industrial scale. Therefore, microbial biotechnology represents a strategic field for the development of innovative solutions in mycotoxin control and the promotion of food safety.

Keyword: Mycotoxins. Biocontrol. Microorganisms.

SUMÁRIO

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
1. Introdução Geral.	8
2. Objetivos	11
3. Capítulo I.....	12
4. Capítulo II.....	18
5. Conclusão Geral.....	24
6. Referências.....	25

1. INTRODUÇÃO GERAL

A contaminação por micotoxinas constitui um dos principais desafios contemporâneos relacionados à segurança alimentar e à saúde pública em escala global. As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por fungos filamentosos toxigênicos, especialmente dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, capazes de contaminar alimentos e rações em diferentes etapas da cadeia produtiva, desde o campo até o armazenamento e a industrialização (Perrone et al., 2020). Khan, Anwar e Ghazali (2024) destacam que mais de 25% da produção mundial de grãos pode ser afetada por micotoxinas, ocasionando prejuízos econômicos expressivos e impactos diretos e indiretos à saúde humana e animal.

O reconhecimento dos efeitos tóxicos associados ao consumo de alimentos contaminados por fungos remonta a registros históricos antigos; contudo, a compreensão científica sistematizada sobre a natureza química e os mecanismos de ação das micotoxinas consolidou-se apenas no século XX (Khan; Anwar; Ghazali, 2024). Perrone et al. (2020) evidenciam que a descoberta das aflatoxinas, na década de 1960, após surtos de elevada mortalidade animal relacionados ao consumo de rações contaminadas, representou um marco decisivo para os estudos em toxicologia alimentar. A partir desse período, avanços relevantes passaram a ser observados na caracterização da toxicidade, no desenvolvimento de métodos analíticos de detecção e na proposição de estratégias de mitigação dessas substâncias, conforme também apontam Khan, Anwar e Ghazali (2024).

Os efeitos adversos das micotoxinas são amplamente documentados na literatura científica e incluem hepatotoxicidade, nefrotoxicidade, imunossupressão, além de efeitos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos (Perrone et al., 2020). Sharma e Patial (2021) ressaltam que a exposição crônica a essas toxinas, mesmo em baixas concentrações, representa um risco substancial à saúde humana, especialmente em populações vulneráveis. No âmbito da produção animal, a ingestão contínua de micotoxinas está associada à redução do desempenho zootécnico e ao aumento da suscetibilidade a enfermidades. Perrone et al. (2020) acrescentam que as mudanças climáticas têm ampliado a distribuição geográfica de fungos toxigênicos, intensificando a frequência e a complexidade dos episódios de contaminação em diferentes regiões.

Tradicionalmente, as estratégias de mitigação das micotoxinas basearam-se em métodos físicos, químicos e regulatórios, como a triagem de grãos, a aplicação de

adsorventes inorgânicos, o uso de tratamentos térmicos e o estabelecimento de limites máximos toleráveis por legislações nacionais e internacionais (Abraham et al., 2022). Furlong et al. (2024) assinalam que, embora amplamente empregados, esses métodos apresentam limitações relevantes, incluindo eficiência variável, custos elevados, potenciais perdas nutricionais e impactos ambientais. Zhang et al. (2024) reforçam que tais restrições impulsionam a busca por alternativas mais sustentáveis e biologicamente seguras para a mitigação das micotoxinas ao longo da cadeia produtiva.

Nesse contexto, o uso de microrganismos na mitigação às micotoxinas tem se consolidado como uma abordagem inovadora e promissora. Abraham et al. (2022) descrevem a biodescontaminação microbiana como uma estratégia fundamentada na capacidade de determinados microrganismos de adsorver, biotransformar ou degradar micotoxinas em compostos de menor toxicidade. Xu et al. (2022) complementam que esses processos ocorrem por diferentes mecanismos, incluindo a ligação das toxinas às paredes celulares e a ação de enzimas específicas capazes de modificar suas estruturas químicas.

Entre os microrganismos mais investigados, destacam-se as bactérias ácido-láticas, as leveduras e determinados fungos, que apresentam resultados consistentes quanto à redução da biodisponibilidade das micotoxinas (Xia et al., 2022). Wang et al. (2023) demonstram avanços significativos na degradação de aflatoxinas por bactérias ácido-láticas, evidenciando o potencial dessas cepas para aplicação em alimentos e rações. Ren et al. (2020) acrescentam que microrganismos antagonistas também exercem papel relevante no controle de fungos toxigênicos, ao inibir seu crescimento e a produção de micotoxinas por meio da liberação de compostos bioativos.

Diante desse panorama, o objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar de forma crítica e integrada o uso de microrganismos na mitigação às micotoxinas, considerando seus mecanismos de ação, eficácia, limitações e potencial de aplicação na cadeia produtiva de alimentos e rações. Busca-se, ainda, compreender de que maneira essas estratégias podem contribuir para a mitigação dos riscos associados às micotoxinas em um cenário marcado por mudanças climáticas, intensificação da produção agrícola e crescente demanda por sistemas alimentares sustentáveis.

A relevância do estudo justifica-se, primeiramente, pelo seu valor científico. A consolidação e a sistematização do conhecimento sobre a detoxificação microbiana das micotoxinas são fundamentais para o avanço da biotecnologia aplicada à segurança alimentar. Apesar do aumento expressivo de publicações na área, Ren et al. (2020) e

Furlong et al. (2024) apontam lacunas relacionadas à padronização de cepas microbianas, à estabilidade dos microrganismos em diferentes matrizes alimentares e à validação de sua eficácia em escala industrial. Do ponto de vista social, a redução da exposição às micotoxinas contribui diretamente para a proteção da saúde pública, para a segurança alimentar e para a sustentabilidade dos sistemas de produção, especialmente em países em desenvolvimento.

Assim, esta introdução estabelece as bases conceituais e científicas do trabalho, oferecendo uma visão integrada do problema das micotoxinas e evidenciando o potencial dos microrganismos como ferramentas estratégicas no enfrentamento desse desafio global, fundamentando o aprofundamento teórico e analítico desenvolvido nos capítulos subsequentes.

2. OBJETIVOS

Geral: Analisar o uso de microrganismos na mitigação às micotoxinas, considerando seus mecanismos de ação, potencial de aplicação e contribuições para a segurança alimentar e a saúde humana e animal, a partir de uma abordagem teórica e científica que subsidie a produção de um artigo científico sobre o tema.

ESPECÍFICOS:

- Analisar os principais microrganismos utilizados na detoxificação de micotoxinas em alimentos e rações, com ênfase em seus mecanismos de adsorção, biotransformação e degradação, bem como na eficácia dessas abordagens segundo a literatura científica recente;
- Investigar a interação entre micotoxinas e microbiota intestinal, discutindo o papel dos microrganismos na redução da biodisponibilidade e toxicidade dessas substâncias e suas implicações para a saúde humana e animal.

CAPÍTULO I

Microrganismos na mitigação às micotoxinas na cadeia produtiva de alimentos e rações: avanços, mecanismos e limitações

Resumo

As micotoxinas representam um dos principais desafios à segurança alimentar global, uma vez que contaminam alimentos e rações ao longo de toda a cadeia produtiva, ocasionando impactos significativos à saúde humana e animal, além de prejuízos econômicos expressivos. Tradicionalmente, o controle dessas toxinas tem se baseado em métodos físicos e químicos, os quais apresentam limitações quanto à eficácia, sustentabilidade e preservação do valor nutricional dos alimentos. Nesse contexto, a detoxificação microbiana emerge como uma alternativa promissora e ambientalmente segura. O presente artigo teve como objetivo analisar o uso de microrganismos na mitigação às micotoxinas na cadeia produtiva de alimentos e rações, abordando os principais tipos de micotoxinas, os microrganismos detoxificantes, seus mecanismos de ação, bem como as aplicações tecnológicas e limitações dessas estratégias. Trata-se de uma revisão narrativa da literatura científica recente, fundamentada em estudos que evidenciam a capacidade de bactérias, leveduras e fungos em adsorver, biotransformar ou degradar micotoxinas. Os resultados indicam que bactérias ácido-láticas, leveduras como *Saccharomyces cerevisiae* e microrganismos antagonistas apresentam elevado potencial na mitigação das micotoxinas, contribuindo para a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção. Contudo, desafios relacionados à padronização de cepas, estabilidade e validação em escala industrial ainda persistem. Conclui-se que a biotecnologia microbiana constitui uma estratégia promissora, porém dependente de avanços científicos e tecnológicos para sua ampla aplicação.

Palavras-chave: Biorremediação; Segurança alimentar.

Abstract

Mycotoxins represent one of the main challenges to global food safety, as they contaminate food and feed throughout the entire production chain, causing significant impacts on human and animal health as well as substantial economic losses. Traditionally, mycotoxin control has relied on physical and chemical methods, which present limitations in terms of efficiency, sustainability, and preservation of nutritional quality. In this context, microbial detoxification emerges as a promising and environmentally safe alternative. This article aimed to analyze the use of microorganisms in combating mycotoxins in the food and feed production chain, addressing the main types of mycotoxins, detoxifying microorganisms, their mechanisms of action, and technological applications and limitations. This is a narrative review of recent scientific literature, based on studies demonstrating the ability of bacteria, yeasts, and fungi to adsorb, biotransform, or degrade mycotoxins. The results indicate that lactic acid bacteria, yeasts such as *Saccharomyces cerevisiae*, and antagonistic microorganisms show high potential in mycotoxin mitigation, contributing to food safety and sustainable production. However, challenges related to strain standardization, stability, and industrial-scale validation remain. It is concluded that microbial biotechnology represents a promising strategy,

although dependent on further scientific and technological advances for large-scale application.

Keywords: Biodescontamination; Food safety.

1.1 Introdução

A contaminação por micotoxinas constitui um problema recorrente e complexo na cadeia produtiva de alimentos e rações, com implicações diretas para a segurança alimentar, a saúde pública e a economia global. As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por fungos filamentosos toxigênicos, principalmente dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium*, capazes de contaminar cereais, grãos, oleaginosas e produtos lácteos e sucos em diferentes estágios de produção, armazenamento e processamento. Khan, Anwar e Ghazali (2024) destacam que a ampla distribuição dessas toxinas está associada a fatores ambientais, agrícolas e tecnológicos, tornando seu controle um desafio persistente.

O impacto das micotoxinas vai além das perdas econômicas, uma vez que sua ingestão está relacionada a efeitos tóxicos agudos e crônicos, incluindo hepatotoxicidade, imunossupressão e carcinogênese. Sharma e Patial (2021) ressaltam que a exposição contínua, mesmo em concentrações abaixo dos limites regulatórios, pode comprometer a saúde humana e animal. Ademais, Perrone et al. (2020) evidenciam que as mudanças climáticas têm favorecido a expansão geográfica de fungos toxigênicos, aumentando a incidência e diversidade de micotoxinas na cadeia alimentar.

Diante das limitações dos métodos tradicionais de mitigação, como processos físicos e químicos, cresce o interesse por estratégias biológicas mais sustentáveis. Nesse contexto, a utilização de microrganismos com capacidade detoxificante tem se destacado como uma alternativa inovadora e promissora, capaz de atuar de forma preventiva e corretiva na redução das micotoxinas em alimentos e rações.

1.2 Material e Métodos

Este estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura científica, com abordagem qualitativa e descritiva. A construção do corpus teórico fundamentou-se em uma busca sistematizada em bases de dados reconhecidas, como *Scopus*, *Web of Science*, *PubMed* e *ScienceDirect*, utilizando descritores em inglês e português, tais como “mycotoxins”, “microbial detoxification”, “food safety”, “biodegradation” e “feed

contamination”, combinados por operadores booleanos (AND, OR).

Foram considerados artigos científicos publicados no período de 2010 a 2024, priorizando-se estudos originais e de revisão publicados em periódicos internacionais de alto impacto nas áreas de microbiologia, ciência dos alimentos e toxicologia. Como critérios de inclusão, selecionaram-se trabalhos que abordassem diretamente a detoxificação microbiana de micotoxinas na cadeia produtiva de alimentos e rações, contemplando a identificação dos principais tipos de micotoxinas, os microrganismos envolvidos, seus mecanismos de ação e as aplicações tecnológicas associadas. Foram excluídos estudos duplicados, publicações com acesso restrito sem resumo disponível e trabalhos que não apresentassem relação direta com o tema proposto.

A análise dos estudos selecionados ocorreu de forma interpretativa e comparativa, permitindo a síntese crítica das evidências disponíveis, conforme abordagens discutidas por Abraham et al. (2022), Xu et al. (2022) e Furlong et al. (2024). Buscou-se, assim, garantir maior transparência, reprodutibilidade e consistência científica à revisão realizada.

1.3 Resultados e Discussão

A contaminação por micotoxinas na cadeia produtiva de alimentos e rações constitui um dos principais desafios contemporâneos da segurança alimentar, devido à diversidade química dessas toxinas, à multiplicidade de substratos passíveis de contaminação e à complexidade dos fatores ambientais envolvidos. Zhang et al. (2024) demonstram que cereais e oleaginosas figuram entre as matérias-primas mais suscetíveis à ocorrência de micotoxinas, sobretudo quando submetidas a condições inadequadas de colheita, secagem, transporte e armazenamento. Essa vulnerabilidade é intensificada em regiões de clima quente e úmido, cenário cada vez mais frequente diante das mudanças climáticas globais, conforme discutido por Perrone et al. (2020).

Entre as principais micotoxinas de relevância na cadeia alimentar destacam-se as aflatoxinas, fumonisinas, zearalenona, ocratoxina A e os tricotecenos. Khan, Anwar e Ghazali (2024) ressaltam que essas toxinas apresentam estruturas químicas distintas, o que resulta em mecanismos de toxicidade variados e dificulta o desenvolvimento de estratégias universais de mitigação. As aflatoxinas, por exemplo, são amplamente reconhecidas por seu potencial hepatotóxico e carcinogênico, enquanto as fumonisinas estão associadas a distúrbios neurológicos e imunológicos. Essa diversidade estrutural e

funcional exige abordagens específicas e integradas ao longo da cadeia produtiva, desde a produção primária até o consumo final (Khan; Anwar; Ghazali, 2024).

Nesse contexto, cresce o interesse por estratégias biológicas de mitigação, especialmente aquelas baseadas no uso de microrganismos com capacidade detoxificante. Abraham et al. (2022) destacam que a detoxificação microbiana se diferencia dos métodos físicos e químicos tradicionais por atuar de forma mais seletiva, sustentável e com menor impacto sobre o valor nutricional dos alimentos. Xu et al. (2022) complementam que essa abordagem apresenta elevada compatibilidade com sistemas de produção modernos, especialmente aqueles orientados por princípios de sustentabilidade e segurança alimentar.

Diversos grupos microbianos têm sido investigados quanto ao seu potencial de neutralização das micotoxinas. Bactérias ácido-láticas, leveduras e fungos não toxigênicos despontam como os principais agentes biológicos estudados. Wang et al. (2023) evidenciam que bactérias ácido-láticas apresentam elevada eficiência na degradação de aflatoxinas, atribuída tanto à capacidade de adsorção quanto à ação enzimática específica. Essas bactérias, amplamente utilizadas na indústria de alimentos fermentados, oferecem a vantagem adicional de já possuírem *status* de segurança reconhecido, o que favorece sua aplicação tecnológica.

As leveduras, em especial *Saccharomyces cerevisiae*, também têm demonstrado papel relevante na mitigação de micotoxinas. Abraham et al. (2022) explicam que componentes da parede celular dessas leveduras, como glucanos e mananos, são capazes de se ligar fisicamente às micotoxinas, reduzindo sua biodisponibilidade no trato gastrointestinal. Esse mecanismo é particularmente relevante na produção de rações animais, onde a adsorção das toxinas pode minimizar seus efeitos deletérios sem a necessidade de remoção completa do contaminante da matriz alimentar.

Além disso, Ren et al. (2020) chamam atenção para o uso de microrganismos antagonistas como estratégia preventiva, uma vez que esses agentes podem inibir o crescimento de fungos toxigênicos e, conseqüentemente, reduzir a produção de micotoxinas ainda nas fases iniciais da cadeia produtiva.

Os mecanismos de ação envolvidos na detoxificação microbiana das micotoxinas são variados e frequentemente complementares. Abraham et al. (2022) descrevem que a adsorção física constitui um dos mecanismos mais estudados, caracterizando-se pela ligação das micotoxinas às estruturas celulares dos microrganismos. Esse processo não altera quimicamente a toxina, mas reduz sua absorção pelo organismo hospedeiro. Xu et

al. (2022), por sua vez, enfatizam que a biotransformação enzimática representa uma abordagem mais definitiva, uma vez que promove a conversão das micotoxinas em metabólitos menos tóxicos ou biologicamente inativos.

A degradação metabólica também se destaca como mecanismo relevante, sobretudo em sistemas onde os microrganismos utilizam as micotoxinas como substrato energético. Wang et al. (2023) apontam que esse processo depende fortemente das condições ambientais, como pH, temperatura e composição da matriz alimentar, o que reforça a necessidade de estudos específicos para cada aplicação industrial.

Apesar do potencial promissor dessas estratégias, sua aplicação tecnológica em escala industrial ainda enfrenta limitações importantes. Furlong et al. (2024) alertam que a variabilidade entre cepas microbianas pode comprometer a reprodutibilidade dos resultados, exigindo rigorosos processos de seleção e padronização. Além disso, a interação entre os microrganismos e a matriz alimentar pode afetar tanto a eficácia da detoxificação quanto as características sensoriais do produto.

Zhang et al. (2024) destacam, ainda, a necessidade de validação regulatória dessas tecnologias, especialmente no que se refere à segurança dos metabólitos gerados durante a biotransformação das micotoxinas. A ausência de protocolos harmonizados e de legislação específica em muitos países representa um entrave adicional à adoção ampla dessas estratégias pela indústria de alimentos e rações.

Dessa forma, a literatura evidencia que o uso de microrganismos na mitigação às micotoxinas configura uma abordagem cientificamente sólida e alinhada às demandas contemporâneas de segurança alimentar e sustentabilidade. Contudo, sua consolidação depende de avanços científicos dos mecanismos envolvidos, dos esforços regulatórios e tecnológicos que viabilizem sua aplicação segura e eficaz ao longo da cadeia produtiva.

1.4 Conclusões e Considerações Finais

A análise da literatura evidencia que o uso de microrganismos na mitigação de micotoxinas representa uma alternativa viável e sustentável para a cadeia produtiva de alimentos e rações. Bactérias ácido-láticas, leveduras e microrganismos antagonistas demonstram elevado potencial na redução da biodisponibilidade e toxicidade das micotoxinas, contribuindo para a segurança alimentar. Contudo, a consolidação dessa estratégia depende de avanços relacionados à padronização de cepas, validação em escala industrial e integração com práticas regulatórias. Assim, a biodescontaminação

microbiana desponta como um campo estratégico para o desenvolvimento de soluções inovadoras no controle das micotoxinas.

CAPÍTULO II

Microbiota intestinal e micotoxinas: interações, mecanismos de neutralização e implicações para a saúde humana e animal

Resumo

A exposição às micotoxinas representa um risco significativo à saúde humana e animal, especialmente devido à ingestão crônica de alimentos e rações contaminados. Essas toxinas, produzidas por fungos filamentosos toxigênicos, exercem efeitos adversos no trato gastrointestinal e podem comprometer a integridade da microbiota intestinal, desencadeando alterações metabólicas, inflamatórias e imunológicas. Nesse contexto, a interação entre micotoxinas e microrganismos intestinais tem emergido como um campo promissor de investigação científica, evidenciando o papel da microbiota na neutralização, adsorção e biotransformação dessas substâncias. O presente artigo tem como objetivo analisar, de forma crítica e integrada, os efeitos das micotoxinas no trato gastrointestinal, o papel da microbiota intestinal na modulação de sua toxicidade, os mecanismos microbianos de neutralização e biotransformação, bem como as implicações fisiológicas e preventivas dessas interações para a saúde humana e animal. Trata-se de uma revisão narrativa baseada em literatura científica recente e relevante. Os resultados indicam que determinados microrganismos intestinais podem reduzir a biodisponibilidade e a toxicidade das micotoxinas, contribuindo para estratégias preventivas baseadas na modulação da microbiota. Contudo, ainda persistem desafios relacionados à variabilidade individual da microbiota, à estabilidade dos efeitos observados e à validação clínica dessas abordagens.

Palavras-chave: Detoxificação microbiana.

Abstract

Exposure to mycotoxins poses a significant risk to human and animal health, particularly due to the chronic ingestion of contaminated food and feed. These toxins, produced by toxigenic filamentous fungi, exert adverse effects on the gastrointestinal tract and may disrupt the intestinal microbiota, leading to metabolic, inflammatory, and immunological alterations. In this context, the interaction between mycotoxins and gut microorganisms has emerged as a promising field of scientific investigation, highlighting the role of the microbiota in the neutralization, adsorption, and biotransformation of these compounds. This article aims to critically and integratively analyze the effects of mycotoxins on the gastrointestinal tract, the role of the intestinal microbiota in modulating their toxicity, microbial mechanisms of neutralization and biotransformation, and the physiological and preventive implications of these interactions for human and animal health. This narrative review is based on recent and relevant scientific literature. The findings indicate that specific gut microorganisms can reduce mycotoxin bioavailability and toxicity, contributing to preventive strategies based on microbiota modulation. However, challenges remain regarding individual microbiota variability, effect stability, and clinical validation.

Keywords: Microbial detoxification.

1.1 Introdução

A contaminação alimentar por micotoxinas configura-se como um problema persistente e de grande impacto para a saúde pública e a produção animal em escala global. Khan, Anwar e Ghazali (2024) destacam que a ingestão dessas toxinas ocorre predominantemente por meio da dieta, tornando o trato gastrointestinal o primeiro e principal local de interação entre as micotoxinas e o organismo hospedeiro. Essa etapa inicial é determinante para processos como absorção intestinal, biodisponibilidade sistêmica e eliminação dessas substâncias, influenciando diretamente a intensidade dos efeitos tóxicos.

As micotoxinas, como aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxina A, zearalenona e tricotecenos, apresentam diferentes perfis toxicológicos, mas compartilham mecanismos de ação que incluem a indução de estresse oxidativo, a inibição da síntese proteica e a desregulação de vias inflamatórias. Esses processos resultam em danos à integridade da mucosa intestinal, aumento da permeabilidade epitelial e comprometimento da função de barreira, favorecendo a translocação de patógenos e toxinas.

Nesse contexto, Sharma e Patial (2021) ressaltam que a exposição crônica, mesmo em baixas concentrações, pode desencadear alterações significativas na composição da microbiota intestinal, caracterizando quadros de disbiose. Tal desequilíbrio impacta negativamente a digestão, a absorção de nutrientes e a modulação do sistema imunológico, ampliando os efeitos deletérios das micotoxinas no organismo.

Paralelamente, a microbiota intestinal tem sido reconhecida não apenas como alvo da toxicidade, mas também como participante ativa em processos de detoxificação. Xia et al. (2022) enfatizam que determinados microrganismos são capazes de adsorver, transformar ou degradar micotoxinas por meio de mecanismos enzimáticos específicos, reduzindo sua toxicidade. Essa interação envolve processos como biotransformação enzimática, ligação às paredes celulares microbianas e modulação metabólica, configurando uma interface dinâmica entre hospedeiro, microbiota e contaminantes alimentares.

Diante desse cenário, o presente estudo delimita-se à análise dos mecanismos de detoxificação microbiana de micotoxinas, com ênfase nos microrganismos envolvidos, nas vias de biotransformação e nas aplicações tecnológicas na cadeia produtiva de alimentos e rações. Ao integrar conhecimentos da microbiologia, toxicologia e ciência dos alimentos, busca-se ampliar a compreensão das estratégias biológicas capazes de

mitigar os impactos dessas toxinas, contribuindo para a segurança alimentar e a saúde animal.

1.2 Material e Métodos

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa da literatura, com abordagem qualitativa e integrativa, voltada à interface entre microbiota intestinal e toxicologia das micotoxinas. Foram analisados artigos científicos publicados em periódicos internacionais de relevância do Scopus e SciELO, selecionados com base na atualidade, pertinência temática e rigor metodológico.

A análise concentrou-se em estudos que abordam: (i) os efeitos das micotoxinas no trato gastrointestinal; (ii) a interação entre micotoxinas e microbiota intestinal; (iii) os mecanismos microbianos de neutralização e biotransformação; e (iv) as implicações fisiológicas e preventivas dessas interações para a saúde humana e animal. As palavras utilizadas na busca foram microbiota intestinal e micotoxinas. A síntese dos dados foi realizada de forma crítica, buscando estabelecer convergências, lacunas e perspectivas futuras.

1.3 Resultados e Discussão

O trato gastrointestinal constitui o principal sítio de exposição às micotoxinas, uma vez que a ingestão de alimentos e rações contaminados representa a via predominante de entrada dessas toxinas no organismo humano e animal. Khan, Anwar e Ghazali (2024) destacam que, logo após a ingestão, as micotoxinas entram em contato direto com o epitélio intestinal, tornando essa estrutura particularmente vulnerável aos seus efeitos tóxicos. A mucosa intestinal atua como uma barreira física e funcional essencial para a homeostase do organismo, sendo responsável não apenas pela absorção de nutrientes, mas também pela proteção contra agentes químicos e biológicos potencialmente nocivos.

Diversas micotoxinas apresentam afinidade específica por células epiteliais intestinais, podendo induzir alterações estruturais e funcionais significativas. A ocratoxina A, por exemplo, tem sido associada ao aumento da permeabilidade intestinal, comprometendo as junções epiteliais e favorecendo o fenômeno conhecido como “intestino permeável”. Esse processo permite a translocação de substâncias tóxicas e microrganismos para a circulação sistêmica, intensificando respostas inflamatórias locais

e sistêmicas. As fumonisinas, por sua vez, interferem no metabolismo dos esfingolipídios, componentes fundamentais das membranas celulares, afetando a homeostase celular e a sinalização intracelular, conforme descrito por Khan, Anwar e Ghazali (2024).

Além dos danos diretos à mucosa intestinal, as micotoxinas podem desencadear respostas inflamatórias persistentes, caracterizadas pela ativação de citocinas pró-inflamatórias e pela alteração da resposta imunológica local. Sharma e Patial (2021) ressaltam que a exposição crônica a essas toxinas, mesmo em baixas concentrações, pode atuar como fator predisponente para distúrbios metabólicos, imunológicos e inflamatórios, sobretudo em populações submetidas a consumo contínuo de alimentos contaminados. Em contextos de insegurança alimentar, esse risco é ainda mais acentuado, ampliando as implicações das micotoxinas para a saúde pública.

Nesse cenário, a microbiota intestinal emerge como elemento central na modulação dos efeitos tóxicos das micotoxinas. Xia et al. (2022) demonstram que a composição, diversidade e estabilidade da microbiota influenciam diretamente a biodisponibilidade dessas substâncias no trato gastrointestinal. Determinados microrganismos são capazes de adsorver micotoxinas à sua parede celular ou transformá-las em metabólitos menos tóxicos, reduzindo sua absorção e seus efeitos deletérios. Essa capacidade confere à microbiota um papel ativo na defesa do organismo frente à exposição alimentar às micotoxinas.

Islam, Mahbub e Islam (2024) reforçam que a interação entre micotoxinas e microrganismos intestinais deve ser compreendida como um mecanismo adaptativo e natural de proteção do hospedeiro. Segundo esses autores, a microbiota atua como uma barreira biológica dinâmica, capaz de modular a toxicidade das micotoxinas por meio de processos físicos e bioquímicos. No entanto, essa relação não é unidirecional. A exposição prolongada às micotoxinas pode alterar significativamente a composição da microbiota intestinal, promovendo disbiose e comprometendo a capacidade detoxificante do ecossistema microbiano.

Perrone et al. (2020) alertam que as micotoxinas, ao afetarem a diversidade microbiana, podem favorecer o crescimento de populações menos eficientes na neutralização dessas toxinas, criando um ciclo de vulnerabilidade crescente. Esse desequilíbrio microbiano não apenas intensifica os efeitos tóxicos locais, mas também contribui para alterações sistêmicas, uma vez que a microbiota intestinal desempenha papel fundamental na regulação do metabolismo e da imunidade.

Os mecanismos de neutralização das micotoxinas pela microbiota intestinal são

variados e frequentemente complementares. Abraham et al. (2022) descrevem que a adsorção física constitui um dos principais mecanismos observados, caracterizando-se pela ligação das micotoxinas a componentes estruturais da parede celular bacteriana, como peptidoglicanos, polissacarídeos e proteínas. Esse processo reduz a biodisponibilidade das toxinas, limitando sua absorção pelo epitélio intestinal e sua distribuição sistêmica.

Xu et al. (2022) destacam que a biotransformação enzimática representa um mecanismo ainda mais relevante do ponto de vista toxicológico, uma vez que promove alterações estruturais nas micotoxinas, convertendo-as em compostos com menor toxicidade ou menor afinidade por receptores celulares. Esse processo depende da presença de enzimas específicas produzidas por determinadas cepas microbianas, o que reforça a importância da diversidade funcional da microbiota intestinal.

A degradação metabólica também se configura como um mecanismo relevante, sobretudo em situações nas quais os microrganismos utilizam as micotoxinas como substrato energético. Wang et al. (2023) evidenciam que bactérias ácido-láticas apresentam capacidade significativa de degradação de aflatoxinas, tanto em ambientes alimentares quanto no trato gastrointestinal. Esses achados sustentam o interesse crescente no uso de probióticos como estratégia preventiva, especialmente em populações humanas e animais expostas a elevados níveis de contaminação alimentar.

Do ponto de vista fisiológico, a capacidade da microbiota intestinal de neutralizar micotoxinas contribui diretamente para a manutenção da integridade da mucosa intestinal, da resposta imunológica e do equilíbrio metabólico do hospedeiro. Furlong et al. (2024) ressaltam que estratégias baseadas na modulação da microbiota, como o uso de probióticos, prebióticos e alimentos funcionais, representam alternativas promissoras para a prevenção da micotoxicose, sobretudo quando associadas a práticas adequadas de controle na cadeia produtiva.

No contexto da saúde animal, essas estratégias assumem relevância ainda maior. Ren et al. (2020) apontam que a melhoria da microbiota intestinal em animais de produção pode reduzir significativamente as perdas produtivas associadas à exposição às micotoxinas, além de contribuir para sistemas de produção mais sustentáveis e alinhados às exigências regulatórias contemporâneas. A redução do impacto das micotoxinas sobre o trato gastrointestinal reflete-se diretamente no desempenho zootécnico, na saúde intestinal e na eficiência alimentar dos animais.

Dessa forma, a literatura evidencia que a interface entre micotoxinas, trato

gastrointestinal e microbiota intestinal constitui um campo estratégico para o desenvolvimento de abordagens preventivas e terapêuticas inovadoras. A compreensão aprofundada dessas interações é fundamental para a construção de sistemas alimentares mais seguros, sustentáveis e resilientes, tanto no âmbito da saúde humana quanto da produção animal.

1.4 Conclusões e Considerações Finais

A literatura evidencia que a interação entre micotoxinas e microbiota intestinal é determinante para a modulação da toxicidade dessas substâncias. O trato gastrointestinal atua como ambiente central de processos de adsorção, biotransformação e degradação microbiana, influenciando diretamente a biodisponibilidade e os efeitos sistêmicos das micotoxinas.

Observa-se que diferentes microrganismos apresentam capacidades distintas de detoxificação, por meio de mecanismos físicos e enzimáticos. Nesse sentido, a composição e o equilíbrio da microbiota intestinal são fatores decisivos para a proteção do hospedeiro, enquanto alterações nesse ecossistema podem intensificar os efeitos tóxicos. Apesar dos avanços, ainda há limitações relacionadas à variabilidade da microbiota e à predominância de estudos experimentais, o que restringe a aplicação prática dos achados.

Dessa forma, pesquisas futuras devem priorizar a identificação de cepas com potencial detoxificante, bem como a validação de sua eficácia e segurança em condições reais. Esses avanços são essenciais para o desenvolvimento de estratégias aplicáveis à segurança alimentar e à saúde animal.

3. CONCLUSÃO GERAL

A presente pesquisa analisou o uso de microrganismos na mitigação às micotoxinas, evidenciando seu papel como estratégia biotecnológica promissora na redução da toxicidade e da biodisponibilidade dessas substâncias. A literatura confirma que a contaminação por micotoxinas permanece como um desafio relevante à saúde humana, animal e à segurança alimentar, agravado por fatores ambientais e produtivos.

Os resultados demonstram que microrganismos, como bactérias ácido-láticas, leveduras e fungos, atuam por meio de mecanismos de adsorção, biotransformação e degradação enzimática, contribuindo tanto para a prevenção quanto para a detoxificação de alimentos e rações contaminados. Essas estratégias apresentam vantagens em relação aos métodos convencionais, especialmente quanto à sustentabilidade e à preservação da qualidade nutricional, embora ainda existam limitações relacionadas à variabilidade de eficácia e à necessidade de validação em escala industrial.

Além disso, destaca-se que a ação microbiana se estende ao trato gastrointestinal, reforçando seu potencial na modulação dos efeitos das micotoxinas no organismo.

Conclui-se que o uso de microrganismos constitui uma abordagem eficaz e sustentável, com elevado potencial de aplicação. Contudo, avanços científicos e tecnológicos ainda são necessários para sua consolidação prática, especialmente no que se refere à padronização de cepas, validação em condições reais e estudos de longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, Nadine; et al. Microbial detoxification of mycotoxins in food. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 957148, 2022.
- FURLONG, Eliana Badiale; et al. Mitigation of mycotoxins in food – is it possible?. **Foods**, v. 13, n. 7, p. 1112, 2024.
- ISLAM, Md Minarul; MAHBUB, Nasir Uddin; ISLAM, Mohammad Amirul. Gut Microorganism-Mediated Neutralization of Mycotoxins: A Promising Approach to Combat Fungal Toxicity. **Advanced Gut & Microbiome Research**, v. 2024, n. 1, p. 8448547, 2024.
- KHAN, Rahim; ANWAR, Farooq; GHAZALI, Farinazleen Mohamad. A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. **Heliyon**, v. 10, n. 8, 2024.
- PERRONE, Giancarlo; et al. Toxigenic fungi and mycotoxins in a climate change scenario: Ecology, genomics, distribution, prediction and prevention of the risk. **Microorganisms**, v. 8, n. 10, p. 1496, 2020.
- REN, Xianfeng; et al. Control of aflatoxigenic molds by antagonistic microorganisms: Inhibitory behaviors, bioactive compounds, related mechanisms, and influencing factors. **Toxins**, v. 12, n. 1, p. 24, 2020.
- SHARMA, Vinesh; PATIAL, Vikram. Food mycotoxins: Dietary interventions implicated in the prevention of mycotoxicosis. **ACS Food Science & Technology**, v. 1, n. 10, p. 1717-1739, 2021.
- WANG, Yuxi; et al. Research advances in the degradation of aflatoxin by lactic acid bacteria. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases**, v. 29, p. e20230029, 2023.
- XIA, Daiyang; et al. Crosstalk between mycotoxins and intestinal microbiota and the alleviation approach via microorganisms. **Toxins**, v. 14, n. 12, p. 859, 2022.
- XU, Hongwen; et al. Microbial detoxification of mycotoxins in food and feed. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 62, n. 18, p. 4951-4969, 2022.
- ZHANG, Chenchen; et al. Contamination and control of mycotoxins in grain and oil crops. **Microorganisms**, v. 12, n. 3, p. 567, 2024.