



CURSO DE BACHARELADO EM ENFERMAGEM

KEMYLE YOHANNY DA COSTA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MICOTOXINAS NA SAÚDE
HUMANA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Apucarana
2025

KEMYLE YOHANNY DA COSTA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MICOTOXINAS NA SAÚDE
HUMANA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Enfermagem da Faculdade de Apucarana
– FAP, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Enfermagem.

Orientadora: Prof^a. MSc. Vera Lúcia
Delmônico Vilela.

Apucarana
2025

KEMYLE YOHANNY DA COSTA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DAS MICOTOXINAS NA SAÚDE
HUMANA: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Enfermagem da Faculdade de Apucarana
– FAP, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Enfermagem,
com nota final igual a _____, conferida
pela Banca Examinadora formada pelos
professores:

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a MSc. Vera Lúcia Delmônico Vilela
Faculdade de Apucarana

Prof.^a Esp. Enf.^a Rita de Cássia R. Ravelli
Faculdade de Apucarana

Prof.^a Dr.^a Cássia Calixto de Campos
Faculdade de Apucarana

Apucarana, ____ de _____ de 2025.

*A Deus pela oportunidade de viver e
crescer...*

*Às estrelas que ouvem e aos sonhos que
são atendidos...*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me proporcionar forças, sabedoria, ao longo dessa caminhada, guiando meus passos e iluminando meu caminho nos momentos mais desafiadores.

Agradeço imensamente à minha mãe, que sempre foi meu maior apoio, fonte de amor incondicional e força. Sua dedicação e coragem me inspiraram todos os dias a continuar e a acreditar em mim mesma. Não há palavras que expressem minha gratidão por tudo que fez por mim.

Aos meus professores e à minha orientadora, sou profundamente grata pelo conhecimento compartilhado, paciência, orientações e pela confiança em meu potencial. Cada ensinamento foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram, entenderam meus momentos de cansaço e celebraram cada pequena conquista comigo. A amizade de vocês foi um alicerce que me motivou a continuar, mesmo quando as dificuldades pareciam grandes demais.

Por fim, agradeço a mim mesma. Reconheço minha perseverança, esforço e resiliência ao longo dessa jornada. Este trabalho não é apenas o reflexo de meu conhecimento acadêmico, mas também da minha capacidade de superar desafios e seguir em frente, mesmo nos momentos de adversidade.

*“Que minha coragem seja maior que
meu medo e que minha força seja tão
grande quanto minha fé”.*

Clarice Lispector

COSTA DOS SANTOS, Kemyle Yohanny da. **Avaliação dos efeitos das micotoxinas na saúde humana:** uma revisão de literatura. 76p. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) Graduação em Enfermagem. Faculdade de Apucarana – FAP. Apucarana – PR. 2025.

RESUMO

As micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos produzidos por certas espécies de fungos e estão presentes em diversos alimentos e materiais de consumo humano. A contaminação por micotoxinas pode ocorrer pela ingestão direta de alimentos contaminados ou indiretamente, quando animais consomem ração contaminada e são posteriormente consumidos pelos seres humanos. As micotoxinas contaminam diversos alimentos utilizados na alimentação animal e são altamente resistentes, podendo persistir por longos períodos mesmo após a remoção dos fungos produtores. Seu desenvolvimento está ligado a fatores como atividade da água, composição do alimento, temperatura, pH, umidade do ar, danos físicos e presença de esporos fúngicos. O problema de pesquisa abordado neste estudo é identificar quais os impactos das micotoxinas na saúde humana e como esses efeitos podem ser mitigados ou prevenidos, tendo como objetivo identificar e investigar as micotoxinas e seus efeitos, assim como estratégias de prevenção dos impactos na saúde humana. A metodologia adotada nesta pesquisa é uma revisão narrativa da literatura, na qual foram selecionadas as seguintes bases de dados eletrônicas: PubMed, ResearchGate, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), ANVISA, CFIA, EC, EEA, EFSA, FDA, FSSAI, GC, UFJF, UFPE, USDA. Nesse estudo foram analisadas as seguintes micotoxinas: aflatoxinas (AF), fumonisinas (FUM), ocratoxinas A (OTA), patulinas (PAT), tricotecenos (TCTC) e as zearalenonas (ZEN), que são as principais causadoras de micotoxicoses. Dentre as muitas micotoxinas conhecidas, apenas 12 delas, foram identificadas com níveis e frequências significativas em alimentos e rações, no qual 25% das culturas do mundo, como nozes, cereais e arroz, estão contaminadas por mofo e crescimento de fungos, o que representa uma grande preocupação na segurança alimentar. Este estudo evidenciou a relevância das micotoxinas na segurança alimentar e saúde pública, destacando seus efeitos tóxicos, vias de contaminação e principais alimentos afetados. Foram abordadas estratégias de prevenção, detecção e controle, além das legislações nacionais e internacionais. O estudo reforça a necessidade de mais investimentos em pesquisas, monitoramento e políticas públicas para reduzir os riscos à saúde humana e as perdas econômicas associadas à contaminação por micotoxinas.

Palavras-chave: Toxinas. Saúde Pública. Contaminação Alimentar. Detecção. Legislação.

COSTA DOS SANTOS, Kemyle Yohanny da. **Assessment of the Effects of Mycotoxins on Human Health: A Literature Review.** 76p. Work (Monograph). Nursing Graduation. FAP – College of Apucarana. Apucarana-Pr. 2025.

ABSTRACT

Mycotoxins are toxic secondary metabolites produced by certain species of fungi and are present in various foods and consumer products. Mycotoxin contamination can occur through the direct ingestion of contaminated food or indirectly, when animals consume contaminated feed and are later consumed by humans. Mycotoxins contaminate various feed ingredients used in animal nutrition and are highly resistant, capable of persisting for long periods even after the removal of the fungi that produced them. Their development is influenced by factors such as water activity, feed composition, temperature, pH, air humidity, physical damage to the feed, and the presence of fungal spores. The research problem addressed in this study is to identify what the impacts of mycotoxins on human health are and how these effects can be mitigated or prevented, with the objective of identifying and investigating mycotoxins and their effects, as well as strategies to prevent their impact on human health. The methodology adopted in this research is a narrative literature review, in which the following electronic databases were selected: PubMed, ResearchGate, Scientific Electronic Library Online (SciELO), ANVISA, CFIA, EC, EEA, EFSA, FDA, FSSAI, GC, UFJF, UFPE, USDA. In this study were analyzed the following mycotoxins: aflatoxins (AF), fumonisins (FUM), ochratoxin A (OTA), patulins (PAT), trichothecenes (TCTC), and zearalenones (ZEN), which are the primary causes of mycotoxicoses. Among the many known mycotoxins, only 12 of them have been identified at significant levels and frequencies in foods and animal feed, with 25% of global crops such as nuts, cereals, and rice being contaminated by mold and fungal growth, which poses a major concern for food safety. This study evidenced the relevance of mycotoxins in food safety and public health, highlighting their toxic effects, routes of contamination, and the main affected foods. Strategies for prevention, detection, and control were addressed, in addition to national and international regulations. The study reinforces the need for increased investment in research, monitoring, and public policies to reduce the risks to human health and the economic losses associated with mycotoxin contamination.

Keywords: Toxins. Public Health. Food Contamination. Detection. Legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE/HPLC).....	46
Figura 2 – Preparação de uma cromatografia em Camada Delgada.....	49
Figura 3 – Representação de um cromatógrafo a gás para técnica de cromatografia gasosa.....	51
Figura 4 – Representação da espectrometria de massa.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais micotoxinas e seus determinados fungos produtores.....	23
Quadro 2 – Principais biomarcadores utilizados na avaliação da exposição à contaminação por micotoxinas.....	43
Quadro 3 – LMT de micotoxinas por país (2022-2024).....	58

LISTA DE SIGLAS

AF/AFL	Aflatoxinas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATA	Aleukia Tóxica Alimentar/ Aleurinose Tóxica Alimentar
CCD/TCL	Cromatografia em camada delgada/ <i>Thin Layer Chromatography</i>
CG/GC	Cromatografia Gasosa/ <i>Gas Chromatography</i>
CLAE/HPCL	Cromatografia líquida de alta eficiência/ <i>High-Performance Liquid Chromatography</i>
CFIA	<i>Canadian Food Inspection Agency</i>
DON	Desoxinivalenol
EM/ME	Espectrometria de Massas/ <i>Mass Spectrometry</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> /Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FSSAI	<i>Food Safety and Standards Authority of India</i>
FUM	Fumonisin

IARC *International Agency for Research on Cancer*

IN Instrução Normativa

LMT Limites Máximos Toleráveis

OMS Organização Mundial da Saúde

OTA Ocratoxinas A

PAT Patulinas

RDC Resolução da Diretoria Colegiada

Rf Fator de Retenção

SQR Substância Química de Referência

TCTC Tricotecenos

UE União Europeia

ZEN Zearalenonas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	METODOLOGIA	19
3.1	Delineamento da Pesquisa	19
3.2	Local da Pesquisa	19
3.3	Critérios para Seleção dos Estudos	20
3.4	Procedimentos da Coleta de Dados	20
3.5	Análise de Dados.....	20
3.6	Estrutura temática da apresentação dos resultados	21
3.7	Aspectos Éticos	21
4	MICOTOXINAS	22
4.1	Aflatoxinas (AF/AFL)	24
4.2	Fumonisinas (FUM)	26
4.3	Ocratoxinas A (OTA)	29
4.4	Patulinas (PAT)	32
4.5	Tricotecenos (TCTC)	35
4.6	Zearalenonas (ZEN).....	38
5	AVALIAÇÃO E DETECÇÃO DE MICOTOXINAS.....	41
5.1	Métodos de detecção	41
5.1.1	Biomarcadores	41
5.1.2	Métodos Cromatográficos	44
5.1.2.1	Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)	45
5.1.2.2	Cromatografia em camada delgada (CCD).....	47
5.1.2.3	Cromatografia gasosa (CG).....	50
5.1.3	Espectrometria de massas (EM)	52
5.2	Legislação e regulamentação	54
5.3	Legislação brasileira.....	56
5.4	LMT Internacional e no Brasil	58

6	PREVENÇÃO E CONTROLE	59
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS.....	63
	GLOSSÁRIO	73

1 INTRODUÇÃO

Os fungos, componentes do Reino Fungi, desempenham papéis essenciais na decomposição de matéria orgânica, na produção de alimentos e medicamentos; são divididos em fungos não tóxicos, utilizados na alimentação e fungos tóxicos, responsáveis pela produção de micotoxinas, substâncias prejudiciais à saúde humana (Prado, 2017). Neste estudo, foram analisados o conceito de micotoxinas, as principais espécies nocivas à saúde humana, bem como seu histórico, origens, sintomas, métodos de prevenção e detecção. Também são abordadas as legislações e regulamentações vigentes, bem como as estratégias de controle e prevenção desses contaminantes.

Micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos produzidos por certas espécies de fungos e estão presentes em diversos alimentos e materiais de consumo humano; a contaminação por micotoxinas é denominada micotoxicose e pode ocorrer pela ingestão direta de alimentos contaminados ou indiretamente, quando animais consomem ração contaminada e são posteriormente consumidos pelos seres humanos; os sinais de toxicidade aguda incluem hipertermia, êmese e dores abdominais, seguidos de quadros como fotossensibilidade, depressão e icterícia (Ribeiro *et al.*, 2023).

As micotoxinas são produzidas principalmente por espécies como *Fusarium*, *Penicillium* e *Aspergillus*, sendo classificadas em tricotecenos, fumonisinas, ocratoxinas e aflatoxinas (Rodrigues, 2022). Não há tratamento específico para micotoxicoses; a remoção do alimento contaminado e o tratamento dos sintomas são as medidas mais comuns (Savi, 2020).

No contexto, a compreensão dos efeitos das micotoxinas torna-se fundamental para a segurança alimentar e a saúde pública; elas representam um alto risco para a saúde, podendo causar desde sintomas agudos e graves, além de efeitos a longo prazo na saúde, como distúrbios gastrointestinais, doenças crônicas e até câncer (Rodrigues, 2022). Estatísticas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, do inglês *Food and Agriculture Organization* (FAO) revelou em 2001, que cerca de 25% dos alimentos produzidos no mundo estão contaminados com micotoxinas (Savi, 2020).

A detecção e controle das micotoxinas são de extrema importância, especialmente em indústrias e empresas alimentícias, nas quais as regulamentações

são estabelecidas para controlar a contaminação; instituições como a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a FAO desempenham papéis cruciais na avaliação de riscos relacionados à contaminação por micotoxinas (Ribeiro *et al.*, 2023).

Com base nas regulamentações estabelecidas por organizações internacionais, como a OMS e a FAO através do programa *Codex Alimentarius* criado em 1963 (Stein, 2024), é possível estabelecer diretrizes claras para a prevenção e mitigação dos riscos associados às micotoxinas. Esses organismos desempenham um papel fundamental na avaliação dos impactos dessas substâncias na saúde humana e na elaboração de estratégias eficazes para controlar sua disseminação (Ribeiro *et al.*, 2023).

Por meio da cooperação entre governos, indústrias alimentícias e organizações internacionais, é possível desenvolver e implementar medidas de monitoramento e controle que visam garantir a conformidade com os padrões de segurança alimentar estabelecidos; dessa forma, busca-se não apenas reduzir a contaminação por micotoxinas, mas também promover a saúde e o bem-estar da população global (Arruda; Beretta, 2019; Ribeiro *et al.*, 2023).

O problema de pesquisa abordado neste estudo é identificar quais são os impactos das micotoxinas na saúde humana e como esses efeitos podem ser mitigados ou prevenidos, tendo como objetivo identificar e investigar as micotoxinas e seus efeitos, assim como estratégias de prevenção dos impactos na saúde humana.

A relevância desse estudo envolve a compreensão dos efeitos das micotoxinas e o desenvolvimento de estratégias eficazes de detecção e prevenção, fundamentais para proteger a saúde e o bem-estar da população. Essa área de pesquisa proporciona um ambiente multidisciplinar que permite a colaboração entre diversas áreas do conhecimento, e contribui para a formação de profissionais altamente qualificados e conscientes dos desafios relacionados à segurança alimentar e à saúde pública, colaborando significativamente para o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de detecção de micotoxinas.

Neste estudo, serão explorados os segmentos que compõem a fundamentação teórica, nos quais serão dedicados tópicos a cada tipo específico de micotoxina, abordando aspectos como a produção dessas toxinas, os sintomas que elas provocam, os locais onde podem ser encontradas, bem como formas de prevenção e eliminação. Além disso, outros segmentos serão explorados, como os métodos de detecção, legislações e regulamentações vigentes, bem como métodos

de prevenção e controle disponíveis. O objetivo é proporcionar uma abordagem metodológica apropriada para apresentar e debater o tema, considerando uma perspectiva teórica ou contextual (Gil, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar e investigar as micotoxinas e seus efeitos, assim como estratégias de prevenção dos impactos na saúde humana.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar a literatura científica atual sobre as micotoxinas e sua relação com a saúde humana.
- Analisar os diferentes tipos de micotoxinas e seus potenciais efeitos adversos na saúde humana.
- Investigar os mecanismos de ação das micotoxinas no organismo humano e os possíveis sistemas ou órgãos afetados.
- Apresentar as estratégias e medidas preventivas que buscam reduzir a exposição humana às micotoxinas.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento da Pesquisa

A metodologia utilizada nesta pesquisa consiste em uma revisão narrativa de literatura, com uma abordagem qualitativa. O objetivo dessa abordagem é sintetizar o conhecimento existente, tanto em nível nacional quanto internacional, sobre a avaliação dos impactos das micotoxinas na saúde humana. Para isso, são abordados o conceito de micotoxinas, seus principais tipos, as doenças que causam e os métodos de detecção, legislações e regulamentações vigentes, bem como medidas de prevenção e controle disponíveis.

A pesquisa qualitativa tem um papel amplamente reconhecido entre as abordagens para o estudo dos fenômenos que envolvem os seres humanos e suas complexas interações sociais em diferentes contextos e, essa metodologia se destaca por não seguir um formato rigorosamente estruturado, mas permite que a imaginação e a criatividade guiem os pesquisadores na elaboração de estudos que explorem novos caminhos e perspectivas (Gil, 2017).

O autor supracitado complementa que esse tipo de pesquisa reúne informações que não se limitam a quantificação de um tema, mas têm como objetivo descrevê-lo, utilizando percepções, opiniões e perspectivas, além de ser caracterizada por uma menor estruturação, permitindo uma imersão mais profunda no tema para compreender as motivações, pensamentos e atitudes das pessoas.

A revisão narrativa da literatura é uma abordagem metodológica apropriada para apresentar e debater o desenvolvimento de um determinado tema, considerando uma perspectiva teórica ou contextual e, esse tipo de revisão não adota critérios rigorosos e sistemáticos para a busca e avaliação crítica das fontes, permitindo assim uma abordagem ampla e qualitativa sobre o assunto (Gil, 2017).

3.2 Local da Pesquisa

Para garantir uma revisão abrangente e de qualidade, foram selecionadas as seguintes bases de dados eletrônicas: PubMed, ResearchGate, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), ANVISA, CFIA, EC, EEA, EFSA, FDA, FSSAI, GC, UFJF, UFPE e USDA.

3.3 Critérios para Seleção dos Estudos

Os critérios de inclusão para esta pesquisa abrangem estudos publicados entre 2014 e 2024, exceto legislações publicadas anteriormente, disponíveis em português, inglês e espanhol e outros idiomas, que abordem sobre as micotoxinas, suas definições e tipos, métodos de detecção, legislações e regulamentações vigentes, bem como métodos de prevenção e controle disponíveis.

Foram escolhidos um total de 85 estudos, distribuídos da seguinte forma: 25 publicações em revistas acadêmicas, 22 publicações de sites, 12 resoluções/normas técnicas oficiais, 7 teses, 7 publicações de livros acadêmicos, 5 monografias, 3 artigos, 2 dissertações, 1 relatório técnico e 1 material didático, todos conforme os critérios de seleção estabelecidos.

3.4 Procedimentos da Coleta de Dados

A busca foi realizada entre março de 2024 a maio de 2025, utilizando os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e *Medical Subject Headings* (MeSH), foram definidos palavras-chave e termos para a busca, como 'Toxinas', 'Saúde Pública', 'Contaminação Alimentar', 'Detecção' e 'Legislação'. A seleção dos artigos foi feita em duas etapas: leitura dos títulos e resumos, seguida da leitura completa dos estudos que se enquadraram nos critérios de inclusão.

3.5 Análise de Dados

Os dados foram analisados de maneira descritiva e qualitativa, visando identificar tanto as similaridades quanto as distinções entre os estudos incluídos. Essa metodologia também possibilitou evidenciar as lacunas de conhecimento sobre as micotoxinas e seus principais efeitos na saúde humana. As informações foram agrupadas em categorias temáticas, o que facilitou a discussão dos resultados, destacando os principais tipos de micotoxinas, os métodos de detecção, legislações e regulamentações vigentes, bem como estratégias de prevenção e controle disponíveis.

3.6 Estrutura temática da apresentação dos resultados

Os resultados foram organizados em categorias temáticas para facilitar a compreensão e a discussão, incluindo: "Conceito de micotoxinas", "Os principais tipos de micotoxinas", "Principais eventos históricos causados pelas micotoxinas", "Principais sintomas e doenças causadas por cada tipo de micotoxinas", "Os métodos de detecção", "Legislação e Regulamentação" e "Prevenção e controle de micotoxinas".

A apresentação dos resultados foi relatada em forma de texto narrativo, incluindo tópicos significativos para retratar e fundamentar as publicações escolhidas. Serão abordados os conceitos e os tipos de micotoxinas, os seus efeitos na saúde humana e os métodos de detecção, legislações e regulamentações e, prevenção e controle de micotoxinas.

Essa metodologia possibilitou uma análise abrangente e detalhada dos efeitos das micotoxinas na saúde humana, contribuindo tanto para o embasamento teórico quanto prático do tema. Assim, foi possível propor estratégias e medidas preventivas para reduzir a exposição humana às micotoxinas.

3.7 Aspectos Éticos

Por se tratar de uma revisão narrativa baseada em estudos publicados, esta pesquisa não envolveu a participação direta de seres humanos, dispensando, assim, a aprovação por Comitê de Ética. No entanto, todas as fontes foram devidamente citadas, respeitando os princípios de integridade e ética científica.

4 MICOTOXINAS

A segurança alimentar é um tema de grande relevância na saúde pública e na economia global, sendo diretamente influenciada pela presença de contaminantes nos alimentos. Dentre esses contaminantes, as micotoxinas se destacam como uma preocupação significativa devido ao seu impacto na saúde humana e animal.

Este capítulo tem como objetivo apresentar um panorama abrangente sobre as micotoxinas, explorando suas definições e origem, os fatores que favorecem seu desenvolvimento, seus efeitos na saúde humana e animal, a diversidade de tipos existentes e seus impactos na segurança alimentar e na economia. Dessa forma, busca-se fornecer uma compreensão aprofundada sobre a importância do controle e monitoramento dessas substâncias.

As micotoxinas são substâncias produzidas por fungos como subprodutos de seu metabolismo secundário, elas contaminam vários alimentos usados na dieta dos animais e são resistentes a condições ambientais extremas, podendo permanecer nos alimentos por períodos prolongados mesmo após a remoção dos fungos que as produziram (Neeff, 2016). Alguns fatores são necessários para o desenvolvimento de diversas micotoxinas, Souza e Ribeiro (2022, p.3) mencionam que:

Para que ocorra o desenvolvimento das micotoxinas nos alimentos alguns fatores estão envolvidos, como a atividade de água, a composição da matriz alimentar, a temperatura, o pH, a umidade relativa do ar, os danos físicos do alimento e a presença de esporos fúngicos.

É essencial entender que a existência de micotoxinas em alimentos e rações é preocupante para a saúde humana e animal, além de representar um risco significativo para as perdas econômicas; no Brasil, o clima favorece o crescimento de fungos produtores de micotoxinas, principalmente aflatoxinas e fumonisinas, o que aumenta o risco de contaminação dessas toxinas nos grãos produzidos no país (Neeff, 2016).

Apesar de existirem mais de 300 tipos de micotoxinas conhecidas no mundo, apenas 12 delas foram identificadas com níveis e frequências significativas em alimentos e rações, o que representa uma grande preocupação na segurança alimentar; os autores Liew e Mohd-Redzwan (2018, p. 2) também destacam que: "25%

das culturas do mundo, como nozes, cereais e arroz, estão contaminadas por mofo e crescimento de fungos".

As principais micotoxinas são: Aflatoxinas, Fumonisinias, Ocratoxinas A e Tricotecenos; no entanto, existem outros tipos de micotoxinas, menos conhecidas, mas que também possuem um impacto significativo na saúde humana, como as Patulinas e as Zearalenonas (Rodrigues, 2022). A seguir (quadro 1), apresenta as principais micotoxinas e seus determinados fungos produtores.

Quadro 1 - Principais micotoxinas e seus determinados fungos produtores

MICOTOXINAS	FUNGOS PRODUTORES
Aflatoxinas	<i>Aspergillus flavus e Aspergillus parasiticus</i>
Fumonisinias	<i>Fusarium verticillioides, Fusarium nygamai e Fusarium proliferatum</i>
Ocratoxinas	<i>Penicillium verrucosum, Aspergillus ochraceus, Aspergillus carbonarius, Aspergillus sulphureus, Aspergillus selerotiorum e Aspergillus niger</i>
Patulinas	<i>Penicillium claviforme, Penicillium expansum e Penicillium patulum</i>
Tricotecenos	<i>Fusarium, Trichoderma, Myrothecium, Stachybotrys, Cylindrocarpon</i>
Zearalenonas	<i>Fusarium graminearum e Fusarium culmorum</i>

Fonte: Autora do Trabalho (2025).

Diante do exposto, fica evidente que as micotoxinas representam um grande desafio para a segurança alimentar, visto que sua presença em alimentos e rações pode comprometer a saúde humana e animal, além de causar impactos econômicos significativos. A resistência dessas toxinas a condições ambientais extremas e a sua ampla disseminação na cadeia produtiva reforçam a necessidade de monitoramento rigoroso e adoção de estratégias eficazes para minimizar os riscos de contaminação.

A compreensão dos principais fatores que favorecem a proliferação das micotoxinas, bem como o conhecimento sobre suas classificações e efeitos, é essencial para o desenvolvimento de medidas preventivas e métodos de controle. Assim, a busca por soluções que garantam a qualidade e a segurança dos alimentos deve ser contínua, envolvendo tanto a pesquisa científica quanto a aplicação de boas práticas agrícolas e industriais.

4.1 Aflatoxinas (AF/AFL)

As AF são uma das micotoxinas mais estudadas devido à sua elevada toxicidade. Com isso, este tópico oferece uma visão abrangente dessa toxina, explorando sua definição e origem, os diferentes tipos, os fatores que favorecem seu desenvolvimento, os impactos na saúde humana e animal, além das consequências de sua contaminação em alimentos.

Serão também analisados os principais alimentos suscetíveis à contaminação por essas micotoxinas, além de discutir os efeitos adversos decorrentes de sua ingestão. A sua resistência ao calor e aos tratamentos de desinfecção será abordada, assim como os desafios para eliminar essas substâncias dos alimentos. Casos históricos de surtos relacionados a essa toxina serão apresentados, ilustrando os danos causados em nível global. A compreensão desses aspectos é essencial para reduzir os riscos associados à essa toxina e assegurar a segurança alimentar para a população.

As AF são produzidas principalmente pelos fungos do gênero *Aspergillus*, como *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, esses fungos são capazes de se desenvolver em lugares com temperaturas altas e com umidade; são dificilmente eliminados por serem habituados ao calor elevado, por conseguinte, são encontrados em maiores quantidades em alimentos produzidos em regiões quentes e quando estão armazenados inadequadamente (Ribeiro *et al.*, 2023).

A intoxicação por essa micotoxina é conhecida por aflatoxicose e pode ser aguda ou crônica (Prado, 2017). As AF mais prejudiciais para a saúde pública são referidas como B1, B2, G1 e G2, sendo a AFB1 a mais comum nos alimentos (Santos; Guedes, 2021). Essas substâncias foram classificadas dessa maneira porque exibem brilho azul (Blue) e verde (Green) quando são examinadas sob luz ultravioleta de 365 nanômetros (Braga *et al.*, 2017).

As AF são encontradas em grãos e cereais como nozes, milho, trigo, arroz, soja, amendoim, castanhas, especiarias, frutas secas e produtos lácteos; são difíceis de serem identificadas nos alimentos porque "são compostos químicos que não alteram a coloração nem o cheiro dos alimentos, além de altamente resistentes aos tratamentos de desinfecção" (Ribeiro *et al.*, 2023, p. 19), e possuem muitas consequências a longo prazo, ocasionando diversas doenças como cirrose, lesão

hepática crônica, carcinoma hepatocelular primário (Santos; Guedes, 2021; Prado, 2017).

Uma complementação nesse sentido, com novas informações, é feita por Rosim *et al.* (2018), nos quais mencionam que a sensibilidade aos efeitos nocivos dessa toxina varia conforme a quantidade da toxina nos alimentos, o tempo de exposição e fatores como idade, etnia, gênero, estado de saúde nutricional e o tipo de alimentação.

As AF são eliminadas em líquidos corporais como leite, urina e sangue, e podem ser identificadas medindo-se os biomarcadores de exposição; nos seres humanos, esses biomarcadores incluem resíduos de AFB1 em vísceras, principalmente no fígado, DNA e RNA (Santos; Guedes, 2021). Segundo a *International Agency for Research on Cancer* (IARC), as AF são consideradas metabólitos extremamente tóxicos, sendo o B1 o mais tóxico (Katsurayama; Taniwaki, 2017). Ademais, outro tipo de AF, menos comum, é a AFM1, cuja presença tem sido encontrada em leite de animais que foram alimentados com ração contaminada, isso é preocupante, já que o leite e seus produtos derivados são consumidos por bebês, crianças e adultos em todo o mundo (Rodrigues, 2022).

Além desses fatores, Rodrigues (2022, p. 9) afirma que "as aflatoxinas também demonstraram ser genotóxicas, o que significa que podem danificar o DNA e causar câncer em espécies animais". Tem grande probabilidade carcinogênica no fígado já que, Moreau e Siqueira (2015, p. 300) mencionam:

As aflatoxinas, por serem moléculas de relativo baixo peso molecular e lipofílicas, são facilmente absorvidas após a ingestão. O local de absorção é o intestino delgado, principalmente no duodeno, por difusão passiva. As aflatoxinas seguem para o fígado por meio do suprimento sanguíneo do sistema portal hepático.

Portanto, mesmo sendo de rápida absorção, por serem moléculas com baixa solubilidade na água, dificilmente é eliminada pelo organismo (Sacramento, 2016). Mesmo não havendo estudos que abordem especificamente da temperatura necessária para eliminar a AF, infelizmente, por esse fungo ser desenvolvido em ambientes com temperaturas elevadas, ele não pode ser destruído com o cozimento do alimento contaminado; somente os agentes fortes como ozônio e cloro são capazes de eliminá-lo (Ribeiro *et al.*, 2023).

Alguns acontecimentos na história, tendo essa micotoxina como principal causador foi em 1974, ocorreu um surto de hepatite devido à AF na Índia, resultando em aproximadamente 106 mortes; em 2004, no Quênia, ocorreu o maior surto já registrado, onde 317 pessoas adoeceram e 125 morreram devido ao consumo de milho mofado, colhido precocemente e armazenado inadequadamente; em 2013, nos países europeus como Romênia, Sérvia e Croácia, foi relatada a contaminação no leite nacional (Cinar; Onbaşı, 2019).

Em resumo, as AF representam problema global de saúde pública. Sua presença em diversos alimentos é alarmante, uma vez que essas toxinas não alteram o aspecto visual ou olfativo dos produtos, dificultando sua detecção. Seus efeitos nocivos incluem doenças hepáticas, como cirrose e câncer, além de sua capacidade de danificar o DNA, o que reforça a necessidade de ações preventivas e de controle rigoroso na cadeia produtiva de alimentos.

Dada a resistência das AF aos métodos convencionais de desinfecção e a complexidade de sua eliminação, a implementação de estratégias de monitoramento e controle contínuo é essencial para minimizar os riscos à saúde pública. Esses esforços devem envolver tanto a detecção precoce nos alimentos quanto a conscientização sobre os fatores de risco relacionados à exposição prolongada às toxinas. Este tópico forneceu uma visão abrangente sobre as características das AF e suas implicações à saúde, preparando o caminho para a análise das medidas de controle e monitoramento.

4.2 Fumonisin (FUM)

As FUM são muito estudadas por ter um impacto significativo na saúde humana e animal, especialmente devido à sua ampla presença em alimentos. Neste tópico, será apresentada uma visão abrangente sobre essa micotoxina, abordando sua definição e origem, os fatores que favorecem seu desenvolvimento, além dos principais alimentos suscetíveis à contaminação, com ênfase no milho.

Serão analisados os efeitos adversos dessa micotoxina na saúde humana e animal, incluindo suas possíveis associações com o câncer. Também serão exploradas as dificuldades relacionadas à sua absorção e eliminação no organismo, além dos desafios para sua identificação devido à grande variabilidade genética dos fungos produtores. O texto abordará estudos históricos de surtos relacionados à essa

toxina, destacando a importância de medidas preventivas e programas de monitoramento para mitigar os riscos à saúde pública, oferecendo uma compreensão aprofundada sobre como enfrentar essa contaminação.

As FUM são produzidas principalmente pelos fungos do gênero *Fusarium*, como *Fusarium verticillioides* (antes chamado de *Fusarium moliniforme*), *Fusarium nygamai* e *Fusarium proliferatum*, esses fungos normalmente estão presentes nos solos, o que os torna capazes de contaminar os grãos utilizados tanto em rações quanto na alimentação humana (Neeff, 2016).

São comumente encontradas em regiões tropicais e subtropicais, onde as condições climáticas de calor e umidade são propícias para o crescimento dos fungos do gênero *Fusarium*, os principais produtores dessa toxina; esses climas proporcionam o ambiente ideal para a proliferação dos fungos e, conseqüentemente, para a produção das FUM (Chang, 2014). Oliveira *et al.* (2022, p. 2), afirmam que "para que ocorra o desenvolvimento [...], temperaturas abaixo de 20°C e umidade acima de 15% são necessárias [...]"

Desde que as FUM foram identificadas em 1988, foram descritas 28 moléculas diferentes; até a atualidade, FB1, FB2 e FB3 são as mais conhecidas, sendo a FB1 considerada a mais significativa dentro desse grupo, devido à sua maior presença e toxicidade em comparação com os outros isômeros das FUM (Prado, 2017). Porém, existem alguns outros tipos de FUM que também entram na categoria das mais conhecidas, que são as séries A, C e P (Neeff, 2016).

Diferentemente da maioria das micotoxinas, que são hidrofóbicas, as FUM são compostos hidrofílicos e fortemente polares, o que tornou também sua descoberta mais desafiadora (Liew; Mohd-Redzwan, 2018).

Apesar de algumas pesquisas mencionarem uma leve contaminação de arroz por essa micotoxina, o milho e seus derivados são considerados os principais alimentos associados à presença dessas toxinas, representando um risco significativo para a saúde humana e animal (Prado, 2017). A frequência elevada de FUM no milho do Brasil é alarmante, pois estudos revelaram que 90,2% e 97,4% das amostras de grãos de milho híbrido estavam contaminadas com FB1 e FB2, respectivamente (Chang, 2014).

O nome dado à intoxicação por essa micotoxina é chamado fumonisiose, essa toxina pode ser mortal para certos animais, como os cavalos, causando uma

condição conhecida como leucoencefalomalacia; no entanto, os efeitos das FUM em humanos não são totalmente compreendidos, mas há evidências que sugerem uma possível ligação com o câncer de esôfago (Rodrigues, 2022).

Outros animais também são expostos a essa toxina, como as aves, que podem ser observados sintomas como diarreia, redução na ingestão de alimentos, ganho de peso, aumento no peso relativo do fígado e rins, e necrose hepática (Neeff, 2016), nos equinos podem causar hidrotórax e edema pulmonar (Liew; Mohd-Redzwan, 2018).

Em relação à absorção dessa micotoxina, Neeff (2016, p. 39), esclarece que:

Em geral, a fumonisina é rapidamente absorvida após sua administração intravenosa ou intraperitoneal e é eliminada nas fezes e urina. Seus níveis são indetectáveis 24 horas após sua aplicação em quase todas as espécies e concentrações residuais significantes não foram encontradas no músculo, leite ou ovos. Após administração via oral pouca FB1, é encontrada no soro dos animais, indicando baixa biodisponibilidade. Estudos sugerem que a eliminação de FB1, é mais rápida em frangos de corte e patos quando comparados com perus.

E para identificação dessa micotoxina, Chang (2014, p.18) explica que:

Os métodos fenotípicos algumas vezes não permitem a correta identificação das espécies do gênero *Fusarium*, em virtude da sua grande variabilidade genética. Métodos moleculares, utilizados para a identificação das diferentes espécies de *Fusarium* toxigênicos bem como de outras espécies produtoras de micotoxinas, apresentam boa especificidade, podendo haver um estudo mais determinante quando aliados a técnicas espectrais modernas.

Neeff (2016, p. 27) informa que um acontecimento importante na história que ajudou na identificação dessa micotoxina e tendo ela como principal causador foi em 1904, antes de sua descoberta, que aconteceu em 1988 e cita também que “os fungos do gênero *Fusarium* foram relacionados com doenças em humanos e animais, e mostrou uma ampla variedade de efeitos tóxicos em experimentos com animais em laboratórios”.

Ademais, estudos em seres humanos na África do Sul, Itália e China descobriram uma ligação entre o câncer de esôfago com a ingestão de milho contaminado com FUM (Araújo *et al.*, 2023). Houve um aumento nos casos de defeitos congênitos do tubo neural ao longo da fronteira entre o Texas e o México, também atribuídos ao consumo de milho contaminado (Liew; Mohd-Redzwan, 2018).

O conhecimento dos níveis de contaminação por FUM no milho é essencial para embasar decisões, especialmente considerando a qualidade do milho disponível no mercado que, caso contaminados, podem estar relacionados aos efeitos adversos do consumo direto de alimentos e rações contaminadas com micotoxinas, ocasionando em uma crescente preocupação com a saúde pública (Rodrigues, 2022; Oliveira *et al.*, 2020).

Em resumo, as FUM, especialmente a FB1, representam um risco significativo à saúde humana e animal devido à sua alta toxicidade e à ampla presença em alimentos como o milho. A compreensão de suas características, fontes de contaminação e os efeitos tóxicos observados em diversas espécies é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de monitoramento e controle. A exposição contínua a essas micotoxinas pode resultar em sérios problemas de saúde e distúrbios neurológicos em animais, além de causar grandes prejuízos econômicos.

A partir dos pontos discutidos, fica evidente a necessidade urgente de adotar medidas preventivas e fortalecer os programas de vigilância alimentar para reduzir a exposição às FUM e minimizar os impactos na saúde pública e na produção agropecuária.

4.3 Ocratoxinas A (OTA)

As ocratoxinas, especialmente a OTA, são micotoxinas de grande importância devido à sua alta toxicidade e ampla presença nos alimentos. Este tópico tem como objetivo fornecer uma visão geral sobre as ocratoxinas, abordando sua definição, origem, principais fungos produtores e diferentes tipos. Também serão discutidas as condições necessárias para o desenvolvimento dessas micotoxinas e analisados os principais alimentos vulneráveis à contaminação, com foco na transferência da toxina para produtos de origem animal.

Além disso, será examinado o seu impacto na saúde humana e animal, destacando seus efeitos tóxicos. O texto também abordará os desafios enfrentados no controle e eliminação da OTA, destacando sua estabilidade térmica, o que torna difícil sua remoção durante os processos de processamento alimentar convencionais. Além disso, serão discutidos os métodos de controle em desenvolvimento para reduzir os riscos associados a essa micotoxina.

Serão analisados ainda eventos históricos relacionados à OTA, como a Nefropatia Endêmica dos Balcãs e o caso de contaminação em suínos na Dinamarca, que evidenciam a gravidade da contaminação por essa toxina. Ao final, espera-se reforçar a importância de medidas preventivas e do monitoramento rigoroso para reduzir os impactos da OTA na saúde pública e na economia agropecuária.

As ocratoxinas são produzidas principalmente pelos fungos do gênero *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. Prado (2017, p. 2), menciona detalhadamente, que:

Os principais fungos que produzem a ocratoxina A (OTA) incluem *Penicillium verrucosum*, *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus carbonarius*, *Aspergillus sulphureus*, *Aspergillus sclerotiorum* e, ocasionalmente, *Aspergillus niger*.

A presença do fungo no alimento não significa automaticamente a produção da micotoxina; são necessárias condições específicas de temperatura, tempo, disponibilidade de nutrientes e umidade para que ela se desenvolva e a temperatura ideal para produção da ocratoxina é de 20°C, com uma atividade de água de 0,86 (Souza; Ribeiro, 2022).

A respeito do assunto previamente mencionado, Cunha (2016) explica que, a atividade de água é uma medida que indica a disponibilidade de água livre em um sistema, nesse caso, um alimento; essa atividade varia de 0 a 1, sendo 1 indicativo de uma grande quantidade de água disponível e 0 indicando ausência de água disponível. Simplificando a explicação do autor supracitado, nesse caso, uma atividade de água de 0,86 significa que há uma quantidade significativa de água disponível no alimento, criando um ambiente propício para o crescimento de fungos e a produção de ocratoxinas.

É importante mencionar que, existem três tipos de ocratoxinas (A, B e C), porém a OTA é conhecida por ser a mais tóxica (Arruda; Beretta, 2019), por isso, nesse presente estudo, será citado especificamente sobre essa micotoxina. Em 1965, a OTA foi descoberta em um produto secundário do fungo *Aspergillus ochraceus* durante investigações de novas micotoxinas (Rodrigues, 2022).

Sua principal característica é sua estabilidade térmica, ou seja, a OTA pode permanecer intacta na maioria dos alimentos processados que passam por tratamento térmico (Souza; Ribeiro, 2022). Por conta desse aspecto singular, essa micotoxina possui uma facilidade de distribuição e contaminação em uma variedade de alimentos que são consumidos pelo ser humano (Martínez Torres; Chaves Silva, 2019).

A contaminação de alimentos por essa micotoxina é um problema global por se encontrar em diversos alimentos, especialmente em cereais (trigo, aveia, arroz, cevada, milho), café, uvas secas, vinho, suco de uva, feijão, cacau, especiarias e alcaçuz, que é usado como uma planta medicinal (Rodrigues, 2022; Prado, 2017). Também é importante destacar que, quando presente na ração animal, essa micotoxina pode ser transferida para produtos como leite, carne e até ovos, resultando em contaminação; além desses alimentos, estudos encontraram OTA em medicamentos fitoterápicos e corantes alimentares (Souza; Ribeiro, 2022).

Ocratoxicose é o nome dado à intoxicação por OTA, e além de possuir grande toxicidade, como mencionado anteriormente, possui efeitos teratogênicos, embriotóxicos, genotóxicos, imunossupressores, carcinogênicos, hepatotóxicos e nefrotóxicos (Prado, 2017), que podem acontecer tanto nos seres humanos quanto em outras diversas espécies de animais.

Prado (2017, p. 3) argumenta que:

A OTA é metabolizada de forma lenta e tem meia vida de 35,5 dias. Isso indica que, uma vez ingerida, tal micotoxina OTA permanece no organismo por um longo tempo, aumentando a probabilidade de produzir toxicidade. Liga-se principalmente às proteínas plasmáticas e se acumula no fígado e nos rins.

Devido a esses riscos que a OTA apresenta aos seres humanos e animais, diversos países estabeleceram os LMT dessa toxina, inclusive o Brasil, que foi instituído pelo Ministério da Saúde (Barros, 2022).

Infelizmente, esse fungo nem sempre é eliminado por processamento térmico, já que, sua eliminação acontece somente em temperaturas acima de 150°C, que porventura, pode danificar os alimentos e torná-los impróprio para o consumo (Souza; Ribeiro, 2022). Por outro lado, Katsurayama e Taniwaki (2017, p. 10), descobriram que:

O uso de fungicidas triazóis (classe de produtos químicos) nas plantações indicou uma redução de ocratoxina A e outras micotoxinas, concluindo que estes fungicidas podem inibir o desenvolvimento de fungos toxigênicos encontrados nos campos.

Estão sendo desenvolvidos diversos métodos para combater a OTA, podendo ser: Métodos Físicos como irradiação, que dependem de fatores como temperatura,

tempo de exposição e tipo de alimento; Métodos Biológicos, que envolvem o uso de enzimas, bactérias e leveduras para degradar essa micotoxina, que são escolhidos por sua eficiência, especificidade e a capacidade de serem reutilizados sem liberar compostos indesejáveis; Métodos Químicos, como o uso de extratos de plantas aquosas, que são seguros, naturais e renováveis; além desses três métodos, existe a técnica de adsorção, sendo esta, um processo físico-químico onde materiais podem se ligar e imobilizar a toxina, eliminando-a (Souza; Ribeiro, 2022).

Alguns eventos históricos em que essa micotoxina desempenhou um papel de principal causador de enfermidades, foi nos anos 1950, no sudeste da Europa, ocorreu a Nefropatia Endêmica dos Balcãs, que foi uma condição renal ligada a tumores em seres humanos, tendo como principal suspeita a OTA (Ricci *et al.*, 2021). A Nefropatia Endêmica dos Balcãs é bastante parecida com a Nefropatia Endêmica Suína, que está diretamente ligada à ingestão de OTA por suínos, conforme descrito em um estudo na Dinamarca em 2003, que também ficou evidente que está relacionada ao surgimento de tumores no sistema urinário em humanos e nesses casos, a OTA foi detectada no plasma de pacientes com insuficiência renal crônica (Prado, 2017).

Em resumo, a OTA representa uma grave preocupação devido à sua presença em diversos alimentos consumidos mundialmente, além de poder ser transferida para produtos de origem animal. Inclusive, é visível o quão preocupante é a contaminação por OTA na saúde pública, que também pode acontecer uma grande perda econômica na agropecuária. Essa micotoxina é altamente estável, o que facilita sua disseminação, e possuem efeitos adversos significativos, como toxicidade renal, hepática e potencial carcinogênico.

A discussão sobre os possíveis métodos de controle, como o uso de fungicidas e técnicas inovadoras, ressalta a necessidade de ações eficazes para mitigar os riscos à saúde pública e à economia agropecuária. Portanto, é fundamental continuar os estudos sobre formas de eliminar ou reduzir a contaminação por OTA, garantindo a segurança alimentar.

4.4 Patulinas (PAT)

As PAT estão entre as micotoxinas mais estudadas, especialmente devido à sua presença recorrente em frutas e seus derivados, representando uma preocupação

crescente pela potencial toxicidade. Este tópico tem como objetivo fornecer uma visão abrangente sobre essa micotoxina, abordando sua definição, origem, principais fungos produtores responsáveis por sua formação e as condições ideais para o desenvolvimento dessa micotoxina.

O texto também abordará os alimentos mais suscetíveis à contaminação por essa toxina, bem como os impactos na saúde humana e animal. Além disso, o controle e a eliminação da PAT serão discutidos, com ênfase nos desafios enfrentados devido à sua resistência ao calor e à dificuldade de remoção pelos métodos convencionais de processamento alimentar. Com a finalidade de ressaltar a importância da detecção eficaz e a necessidade de métodos comprovados para reduzir a contaminação e proteger a saúde pública.

As PAT são micotoxinas produzidas por diversos fungos, porém, o gênero *Penicillium* spp., como *Penicillium claviforme*, *Penicillium expansum* e *Penicillium patulum*, são os mais conhecidos (Arruda; Beretta, 2019)

Para a produção das micotoxinas são necessárias condições específicas de temperatura, tempo e umidade para que ela se desenvolva, no entanto, armazenar alimentos em baixas temperaturas não é suficiente para impedir essa formação de micotoxinas, visto que, o fungo *Penicillium expansum* pode crescer e produzir PAT em temperaturas menores que 5°C (Lopes *et al.*, 2023). A PAT tem alta solubilização em água, acetato de etila, etanol e clorofórmio, é instável em soluções alcalinas, mas permanece estável em soluções ácidas, é resistente ao calor e não é destruída pela pasteurização (Basso, 2019).

As PAT tem sido estudada desde 1941 (na época conhecida como tercinina) por sua ação como antibiótico, antimicrobiano, anticancerígeno; atualmente, também é investigada por suas propriedades fitotóxicas e carcinogênicas já que nesses aspectos, o uso como antimicrobiano era muito favorável e demonstrava ser até dez vezes mais eficaz no tratamento de infecções do que a Penicilina G (Basso, 2019).

Basso (2019, p. 29), relata:

Entre 1950 e 1960, seus aspectos tóxicos se tornaram evidentes, tanto em plantas quanto em animais, impedindo seu uso clínico como antibiótico. A partir da década de 60, a patulina foi reclassificada, sendo conhecida como uma micotoxina.

Sua principal característica é se desenvolver em partes de frutos danificadas de diferentes modos (mecanicamente ou por pragas), onde ocorre o apodrecimento, no entanto, essa toxina pode ser encontrada também em frutos que aparentam estar saudáveis (Rodrigues, 2022).

São encontradas em maçãs podres e seus derivados (como sucos) e em outras diversas frutas com presença de mofo, grãos, tubérculos e outros alimentos (Rodrigues, 2022). A contaminação por essa micotoxina se torna um problema maior porque normalmente os sucos derivados dos frutos, são produzidos a partir das sobras ou de frutas que não foram consideradas ideais para vendas, por isso, a taxa dessas frutas estarem contaminadas com PAT são elevadas (Basso, 2019).

A intoxicação pela micotoxina PAT é conhecida como patulinose, e possui efeitos teratogênicos, genotóxico e imunotóxico. Complementando seus efeitos, WHO (2023, p.1), cita que:

Os sintomas agudos em animais incluem danos no fígado, baço e rins e toxicidade para o sistema imunológico. Para humanos, náuseas, distúrbios gastrointestinais e vômitos foram relatados. A patulina é considerada genotóxica, no entanto, um potencial carcinogênico ainda não foi demonstrado.

Pelos efeitos que a PAT causa aos seres humanos e animais, diversos países estabeleceram o LMT dessa micotoxina em sucos de maçã e derivados da fruta; porém, mesmo com esse regulamento, a contaminação por essa micotoxina está em níveis preocupantes (Basso, 2019).

Como citado anteriormente, essa toxina não é eliminada pelo calor, no entanto, Basso (2019, p.38) descreve que "em 1973, Lovett e Peeler, demonstram a redução de patulina em aproximadamente 90% quando expuseram a micotoxina à temperatura de 105°C num período de 29 horas", ou seja, por um período prolongado, essa técnica pode ser eficaz. Além disso, estudos recentes indicaram também que o uso de *Bifidobacterium animalis* VM12 reduz a concentração de PAT em 80% (Cabral, 2019).

Estudos indicam que o processamento térmico como a pasteurização, é o método mais comum para garantir a segurança e qualidade dos alimentos, no entanto, esse método pode afetar tanto o sabor quanto o valor nutricional desses alimentos, por isso, está sendo desenvolvido diversos métodos não térmicos para combater a PAT, como dióxido de carbono supercrítico, plasma frio, ozônio, processamento de

luz pulsada e alta pressão hidrostática, que visam descontaminar alimentos sem causar outros prejuízos (Allai *et al.*, 2023).

Neste tópico, exploramos os principais aspectos relacionados à PAT, desde sua produção por fungos do gênero *Penicillium* até seus efeitos tóxicos para seres humanos e animais. A PAT é uma micotoxina resistente ao calor e frequentemente encontrada em frutas, o que torna sua detecção e controle essenciais para a segurança alimentar. Embora métodos convencionais de pasteurização não sejam totalmente eficazes na eliminação dessa toxina, novas abordagens têm mostrado resultados promissores na redução da concentração dessa toxina.

Apesar de ainda não haver registros históricos significativos de intoxicações massivas por PAT, sua presença em alimentos é um risco constante, especialmente considerando seu impacto potencial na saúde pública e os danos econômicos associados. Portanto, é fundamental continuar investindo em pesquisas e em estratégias inovadoras de controle para reduzir os riscos de contaminação e melhorar a segurança alimentar.

4.5 Tricotecenos (TCTC)

Os TCTC são um grupo de micotoxinas amplamente reconhecido, composto por mais de 200 substâncias diferentes. Este tópico visa fornecer uma visão geral sobre os TCTC, abordando sua definição, origem e os principais fungos produtores. Serão discutidos seus diferentes tipos, com ênfase nos mais relevantes, como o T-2 e o Desoxinivalenol (DON), que são os principais responsáveis pelos efeitos tóxicos em humanos e animais.

Além disso, o texto abordará as condições ideais para o desenvolvimento desses compostos e explicará como sua estabilidade química contribui para a persistência nos alimentos. Serão analisados os alimentos mais suscetíveis à contaminação por TCTC e o impacto desses contaminantes na saúde humana e animal, destacando os efeitos adversos que podem resultar dessa exposição.

O texto também abordará os LMT para a presença de TCTC nos alimentos, com foco nas recomendações de diferentes países, como o Brasil e as nações europeias. Serão discutidos os desafios enfrentados no controle e na eliminação desses compostos, especialmente devido à sua resistência a altas temperaturas e aos processos de autoclavagem. Ao final, será destacada a importância da implementação

de regulamentações rigorosas e do monitoramento contínuo para garantir a segurança alimentar e proteger a saúde pública de forma eficaz.

Os TCTC são um grupo de micotoxinas que possui mais de 200 toxinas e são produzidas por vários gêneros de fungos como: *Fusarium*, *Trichoderma* (do qual surgiu o nome), que são mais comuns, no entanto, existem alguns outros gêneros como: *Myrothecium*, *Stachybotrys*, *Cylindrocarpon*, que também produzem essa micotoxina, mas são menos frequentes (Pinheiro, 2020).

Os TCTC são divididos em 4 tipos (A, B, C e D) e mesmo existindo um grande número desses compostos na natureza, apenas uma pequena quantidade (menos de 10) foi detectada como resultado de contaminação natural em alimentos (Pinheiro, 2020), dentre eles, o T2 (do tipo A) e DON (do tipo B), são os mais importantes causadores de toxicidade em humanos e animais (Liew; Mohd-Redzwan, 2018). O DON é comumente detectado e sua presença é considerada um sinal de que outros TCTC podem estar presentes (Prado, 2017).

Embora não haja estudos que discutem especificamente sobre a temperatura necessária para eliminar os TCTC, trata-se de substâncias quimicamente estável que é capaz de resistir a altas temperaturas e a processos de autoclavagem, além disso, sua estabilidade é mantida em um amplo espectro de pH, desde neutro até ácido (Feltrin, 2018). Ele é solúvel em solventes orgânicos como metanol, etanol, acetonitrila ou acetona, no entanto apresentam menor solubilidade em água (Pérez, 2021).

Pela sua estabilidade, podem persistir nos alimentos por longos períodos, resultando em efeitos negativos à saúde; a exposição a essas toxinas é comum em países de clima temperado, onde o cultivo de trigo é predominante (Feltrin, 2018).

Com base em Basso (2019, p.13):

As primeiras informações sobre os tricotecenos (TCTC) provêm de meados de 1890, na Sibéria, onde havia relatos de sintomas como dores de cabeça, vômito e vertigem relacionados com o consumo de grãos. Em 1932 os TCTC foram reconhecidos como a causa da intoxicação alimentar aleukia - doença grave causada pela intoxicação alimentar - (ATA) na extinta União das Repúblicas Socialistas Soviéticas. A partir de então, mais de 150 tipos diferentes de TCTC foram descobertos.

O DON, também conhecido como vomitoxina, é mais frequentemente identificado em grãos como trigo, cevada, aveia, centeio e milho, e com menor frequência em arroz, sorgo e tritcale (Cinar, Onbaşı, 2019). Já o T-2, é frequentemente

identificado em cereais como milho, cevada, sorgo, aveia, trigo, arroz, centeio e milheto, e em seus subprodutos (Daniela, 2021).

Os TCTC, no geral, são extremamente tóxicos aos seres humanos e animais, podendo causar diversos fatores teratogênicos, neurotoxigênicos e imunossupressores (Cinar, Onbaşı, 2019).

Prado (2017, p.18), cita que:

A ingestão de tricotecenos provoca tanto toxicidade aguda quanto crônica. Sintomas característicos dos efeitos tóxicos dos tricotecenos em humanos são vômitos, diarreia, anorexia, alterações hematológicas, distúrbios neurológicos, destruição da medula óssea e hemorragias generalizada, seguidos ou não de morte. Os mesmos sintomas podem ser observados em animais intoxicados. Em geral, tricotecenos presentes em rações são fácil e rapidamente absorvidos pelo trato gastrointestinal do animal exposto.

Além desses efeitos, os TCTC podem causar irritação rápida na pele (Rodrigues, 2022), inflamações na garganta (Cinar, Onbaşı, 2019), calafrios e distensão abdominal, redução da absorção de glicose, diminuição de hemácias e leucócitos, lesões necróticas no intestino, afetar a secreção de hormônios (Liew; Mohd-Redzwan, 2018). No entanto, não apresenta carcinogenicidade em humanos (Basso, 2019).

Devido às suas toxicidades, Basso (2019, p.14), relata:

A ANVISA determinou o limite para o tricoteceno em alimentos, sendo 1000 µg/kg para trigo integral, cevada, 750 µg/kg para arroz e derivados e 200 µg/kg para cereais destinados a crianças. Assim como no Brasil, para os países Europeus a recomendação de DON para cereais destinados a crianças foi de 200 µg/kg e o valor máximo de 1750 µg/kg foi determinado para farinha de trigo e milho não processado.

Neste capítulo, foi analisado os principais aspectos dos TCTC, um grupo de micotoxinas produzidas por fungos como *Fusarium* e *Trichoderma*. Destacamos a relevância dessas toxinas, como o DON e o T-2, que têm grande impacto na saúde humana e animal, causando efeitos como vômitos, distúrbios hematológicos e danos no sistema imunológico e neurológico. Sua estabilidade química, resistência a altas temperaturas e persistência nos alimentos são características que tornam o controle dessa contaminação essencial para a segurança alimentar.

A regulação e vigilância da presença dessas micotoxinas nos alimentos, como determinado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e organismos

internacionais, são fundamentais para minimizar os riscos à saúde pública. Embora os estudos sobre prevenção ainda sejam limitados, a implementação de medidas de controle rigorosas é indispensável.

4.6 Zearalenonas (ZEN)

As ZEN são um grupo de micotoxinas amplamente estudadas devido aos seus efeitos hormonais em humanos e animais. Este tópico tem como objetivo oferecer uma visão geral sobre essa toxina, abordando sua definição, origem e os principais fungos produtores. Serão discutidas as condições ideais para o desenvolvimento dessa micotoxina, os alimentos mais vulneráveis à contaminação por ZEN, bem como os impactos dessa toxina na saúde humana e animal.

Além disso, será abordada sua resistência, que pode persistir nos alimentos mesmo após o processamento, devido à sua estabilidade química. Essa característica torna o controle e a eliminação da toxina ainda mais desafiadores. O texto também examinará práticas agrícolas que podem ser adotadas para minimizar a contaminação. Com o objetivo de destacar a importância de medidas preventivas e da implementação de regulamentações eficazes para reduzir os impactos dessa toxina na saúde humana e animal.

As ZEN são um grupo de micotoxinas produzidas por fungos do gênero *Fusarium*, especialmente pela espécie *Fusarium graminearum* e *Fusarium culmorum* (Prado, 2017). Essa micotoxina é conhecida desde 1920, por ter sido a principal causadora de diversos problemas hormonais em suínos, bovinos e roedores (Prestes *et al.*, 2019). Já que, quando esses animais consomem um alimento contaminado, aproximadamente 85% das ZEN presente é ingerida e absorvida ao longo do trato gastrointestinal (Maia *et al.*, 2021).

Para ocorrer a criação das ZEN são necessárias algumas condições ideais, nesse caso, a temperatura ideal para sua produção é entre 12° a 14°C, ou seja, suas condições ideais são a baixa temperatura e a alta umidade; no entanto, as mudanças de temperaturas entre o dia quente e noite fria, também influenciam significativamente nessa produção; por esse motivo, é conhecida como micotoxina do outono e é produzida nos campos antes das colheitas (Bravo *et al.*, 2022). Portanto, a temperatura é um dos fatores ambientais mais importantes para o crescimento de

fungos, a produção de toxinas e, conseqüentemente, a contaminação de produtos por essas micotoxinas (Maia *et al.*, 2021).

Além disso, Maia *et al.* (2021, p. 86), citam o que acontece após essa absorção pelo trato gastrointestinal:

[...] posteriormente à absorção dessa micotoxina ela se liga as globulinas do sangue, onde é direcionada e transportada até o fígado para que ocorra a metabolização e distribuição, em sua grande maioria, dessa substância nociva para os órgãos reprodutores dos animais, contudo, existem relatos da presença da zearalenona no tecido adiposo e em outros órgãos além do fígado.

Por esses fatores ocorridos ao longo dos anos, a ZEN ficou conhecida por ser uma micotoxina estrogênica não esteroide (Prado, 2017), ou seja, são compostos que podem imitar ou interferir com a ação dos estrogênios, mas não são derivados do colesterol como os esteroides.

As ZEN podem ser encontradas principalmente em alimentos à base de cereais, como milho, sorgo, trigo, cevada, arroz, soja, gergelim e nozes (Savi, 2020). Os principais problemas causados por essa micotoxinas em humanos e animais são infertilidade, desenvolvimento precoce das mamas, prolapso vaginal, atrofia testicular, edema vulvar, níveis anormais de progesterona e estradiol, úteros aumentados, diminuição do peso fetal e da sobrevivência fetal (quando ocorre a ingestão durante a gravidez), hiperestrogenismo (Liew; Mohd-Redzwan, 2018; Arruda; Beretta, 2019; Savi, 2020).

No entanto, segundo análise dessa micotoxina pela IARC, as ZEN demonstram limitado efeito carcinogênico em humanos (Basso, 2019), porém, mesmo esse efeito sendo reduzido, com a alta exposição ainda pode acontecer (Cinar; Onbaşı, 2019).

Embora não haja estudos suficientes sobre essa micotoxina que comprovem possíveis prevenções, a vigilância e o controle rigorosos na saúde pública são essenciais devido aos problemas que pode ocorrer; as boas práticas agrícolas antes da colheita e no armazenamento de alimentos para animais podem reduzir os níveis de umidade e prevenir o desenvolvimento de micotoxinas, além disso, durante o cultivo, é importante garantir uma boa composição do solo, a quantidade adequada de sol e umidade, e um local apropriado para armazenamento (SENAR, 2018).

Neste capítulo, foram abordados os principais aspectos relacionados às ZEN, desde sua produção até seus efeitos biológicos em humanos e animais. Fomos capazes de compreender a importância das condições ambientais, como temperatura e umidade, para a proliferação dessa micotoxina, bem como os impactos adversos que ela pode causar, como distúrbios hormonais e problemas reprodutivos. Apesar de seu limitado efeito carcinogênico, os riscos associados à exposição contínua e os efeitos estrogênicos exigem um monitoramento rigoroso, especialmente na alimentação animal e humana.

A vigilância ativa e a implementação de boas práticas agrícolas, junto a políticas de controle de contaminação, são fundamentais para mitigar os danos causados por essa micotoxina. A importância de garantir alimentos livres de micotoxinas, por meio de regulamentações e educações voltadas para a saúde pública, é um fator essencial para a segurança alimentar.

5 AVALIAÇÃO E DETECÇÃO DE MICOTOXINAS

A identificação de micotoxinas em alimentos desempenha um papel fundamental na preservação da segurança alimentar e na proteção da saúde humana e animal; esses compostos tóxicos, sintetizados por determinados fungos que proliferam em produtos alimentícios e rações, podem desencadear uma ampla gama de efeitos adversos à saúde, variando desde distúrbios gastrointestinais e imunossupressão até enfermidades severas, como o câncer (Splabor, 2023).

Segundo o autor supracitado, dada a relevância desse risco para a saúde pública, a detecção, monitoramento e controle das micotoxinas ao longo de toda a cadeia produtiva são indispensáveis para minimizar a exposição da população a esses contaminantes e garantir a qualidade dos alimentos consumidos.

Considerando esse contexto, para uma melhor compreensão desse tópico, a seguir serão detalhadas as etapas e os procedimentos para a detecção de micotoxinas.

5.1 Métodos de detecção

5.1.1 Biomarcadores

Os biomarcadores relacionados à segurança alimentar são entendidos como indicadores mensuráveis e avaliáveis que refletem processos metabólicos normais, alterações patológicas ou respostas biológicas a tratamentos terapêuticos (Biõnte Technical Department, 2023).

Alterações químicas no sangue, na urina ou no líquido cefalorraquidiano são exemplos de biomarcadores, que podem indicar a presença de patógenos no organismo, além disso, alterações em estruturas do corpo associadas a essas condições também podem funcionar como biomarcadores, fornecendo mais informações sobre o estado de saúde (Pró-cura, s.d.).

O autor supracitado afirma que, para analisar essas alterações, as técnicas atuais permitem a coleta e análise de quantidades mínimas de fluido extraído de organismos vivos; em seguida, superfícies carregadas dos chips de ligação às proteínas, presentes nesses fluidos, podem separar as diferentes proteínas

encontradas no sangue, líquido cefalorraquidiano, urina ou outras secreções corporais e então, usando técnicas avançadas, os pesquisadores conseguem identificar com precisão as moléculas separadas.

Os biomarcadores podem ser divididos em dois tipos principais: de exposição e de efeito; o biomarcador de exposição refere-se à medição de substâncias externas, seus metabólitos ou os produtos gerados pela interação entre um agente xenobiótico e uma molécula ou célula alvo dentro de um organismo; já o biomarcador de efeito é caracterizado por mudanças em tecidos ou fluidos corporais que podem indicar um impacto negativo na saúde (GIA, 2021).

Simplificando a explicação do autor supracitado, o biomarcador de exposição é uma ferramenta usada para medir a presença de substâncias externas no corpo, como produtos químicos, medicamentos, micotoxinas, e essas substâncias ao entrarem no organismo, podem interagir com células ou moléculas, então o biomarcador ajuda a identificar essas interações. No caso das micotoxinas, que podem ser ingeridas, inaladas ou absorvidas pela pele, os biomarcadores de exposição podem detectar os metabólitos gerados pela interação dessas toxinas com o corpo.

Já o biomarcador de efeito é utilizado para identificar mudanças no corpo que podem indicar danos causados pela exposição a essas substâncias. Assim, enquanto o biomarcador de exposição detecta a presença das micotoxinas no corpo, o biomarcador de efeito busca identificar os danos que essas toxinas podem ter causado, ajudando a monitorar e prevenir doenças relacionadas a essas substâncias.

A aplicação de biomarcadores, que são indicadores biológicos, tem se mostrado uma ferramenta eficaz no acompanhamento e na determinação da frequência de exposição a esses compostos; esses parâmetros contribuem para a compreensão das relações entre causa e efeito, bem como entre dose e efeito, sendo úteis no diagnóstico clínico e laboratorial de casos de micotoxicose (Raichle, 2015).

A análise de biomarcadores de micotoxinas em amostras biológicas é uma abordagem direta para detectar a exposição a essas substâncias em campo, no entanto, é essencial que os biomarcadores sejam específicos para cada tipo de micotoxina e espécie alvo e, além disso, o método utilizado para a sua detecção precisa ser validado para cada tipo de matriz biológica investigada; as micotoxinas formam um grupo de substâncias químicas com características bastante diversas, o

que resulta em diferentes padrões de absorção e metabolismo no organismo de cada espécie; essas variações devem ser levadas em conta na escolha da matriz biológica a ser analisada e também na definição das diretrizes de coleta de amostras (Biönte Technical Department, 2023).

O quadro 2 apresenta os principais biomarcadores utilizados na avaliação da exposição à contaminação por micotoxinas, conforme descrito pela EFSA (2018):

Quadro 2 - Principais biomarcadores utilizados na avaliação da exposição à contaminação por micotoxinas

Micotoxina	Principais biomarcadores
Aflatoxina B₁	Aflatoxina M1 em leite e gema de ovo.
Desoxinivalenol	Metabólitos DON no soro sanguíneo.
Zearalenona	Zearalenona, α -zearalenol e β -zearalenol no plasma. Excreção de zearalenona e seus metabólitos.
Ocratoxina A	Ocratoxina nos rins ou soro sanguíneo.
Fumonisin B₁ + B₂	Razão Sa/So no sangue, plasma e tecidos.

Fonte: EFSA (2018).

Biönte Technical Department (2023, p. 1), complementa:

No plasma sanguíneo, o tempo de amostragem é crítico e deve ser rigorosamente planejado conforme o último consumo de alimento, levando em consideração o grau de adsorção máximo no sangue da micotoxina de interesse. Esta gestão é impraticável na exploração e processos não suficientemente programados podem levar a interpretações erradas dos resultados e a subestimar o risco de contaminação por micotoxinas. Por esta razão, é importante estabelecer um protocolo de alimentação e coleta de sangue muito controlado. Por outro lado, no fígado ou nos rins, as micotoxinas bioacumulam-se antes de serem eliminadas do corpo. Consequentemente, são matrizes biológicas menos sujeitas à variabilidade entre a ingestão alimentar e a amostragem.

Os biomarcadores de exposição e efeito são ferramentas essenciais para avaliar a contaminação por micotoxinas e seus impactos na saúde. Enquanto os biomarcadores de exposição refletem a presença das substâncias ou seus metabólitos no organismo, os biomarcadores de efeito indicam alterações nos tecidos ou fluidos que sugerem danos à saúde. A escolha da matriz biológica e o método de detecção devem ser cuidadosamente selecionados, considerando as características específicas de cada micotoxina e a espécie alvo.

Para análise, as amostras biológicas são coletadas e enviadas a laboratórios especializados, onde são analisadas com métodos validados para detectar os biomarcadores de micotoxinas. O envio dessas amostras para análise requer um protocolo de coleta bem planejado, para minimizar variações e garantir a confiabilidade dos resultados. Essas análises laboratoriais fornecem informações essenciais sobre a exposição a micotoxinas, permitindo a implementação de estratégias eficazes para mitigar riscos à saúde animal e humana.

5.1.2 Métodos Cromatográficos

Este tópico tem a finalidade oferecer um conhecimento sobre os métodos cromatográficos, abordando sua definição e objetivo, aplicações e importância. Serão discutidos o funcionamento da cromatografia e as técnicas hifenadas, bem como os tipos de métodos cromatográficos.

A técnica analítica denominada cromatografia visa a separação ou purificação de misturas, independentemente de sua fase agregada, podendo envolver substâncias líquidas, sólidas ou gasosas (Kasvi, 2024).

A cromatografia é um método amplamente utilizado devido à sua eficácia na separação, identificação e quantificação de substâncias químicas, além disso, essa técnica possibilita a obtenção de informações tanto sobre a composição quanto sobre a quantidade das substâncias presentes em uma mistura (Garcia *et al.*, 2021). Segundo Nascimento (2018), é uma técnica que, quando combinada com outras técnicas analíticas hifenadas, se torna uma ferramenta essencial para a investigação e análise de compostos químicos.

Complementando sobre o funcionamento da cromatografia, Gasperin *et al.* (2017, p. 479), explica: "[...] baseia-se na migração de componentes de uma mistura entre duas fases: a fase estacionária que retém elementos e a fase móvel que conduz a mistura por meio de um soluto através da fase estacionária [...]".

São divididas em: Cromatografia líquida de alta eficiência; Cromatografia em camada delgada; Cromatografia gasosa.

Em resumo, a cromatografia é uma técnica analítica fundamental para a separação, purificação e análise de misturas, seja em substâncias líquidas, sólidas ou gasosas. Sua grande eficácia na identificação e quantificação de substâncias

químicas a torna essencial em diversas áreas da investigação científica e análise química. Além disso, quando combinada com outras técnicas analíticas hifenadas, a cromatografia se torna ainda mais poderosa, permitindo uma análise detalhada dos compostos presentes em uma amostra. O processo de cromatografia envolve a migração dos componentes da mistura entre a fase estacionária e a fase móvel, proporcionando uma separação eficaz.

Para um aprofundamento mais detalhado na técnica, procederemos à análise dos diferentes tipos de cromatografia, como a cromatografia líquida de alta eficiência, a cromatografia em camada delgada e a cromatografia gasosa.

5.1.2.1 Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

Esse tópico tem como objetivo apresentar uma visão geral sobre a CLAE, abordando sua definição e aplicação em diversos campos científicos. Será discutido o princípio de funcionamento da técnica, além de destacar o avanço tecnológico. A estrutura física do sistema, composta por componentes essenciais, também será analisada e representada em figura. Serão abordadas as vantagens dessa técnica, como a capacidade de realizar análises rápidas e sensíveis, e sua versatilidade, que pode ser combinada com outras técnicas analíticas, ampliando suas aplicações em pesquisa científica e controle de qualidade.

Do inglês, *High-Performance Liquid Chromatography* (HPLC), é uma técnica para separar os componentes de uma mistura líquida e, pela sua alta precisão e eficácia na resolução de misturas complexas, é amplamente empregada em laboratórios de química e biologia (Laboranálise Laboratório, 2024a).

De acordo com o autor supracitado, o princípio de funcionamento da CLAE envolve a interação entre duas fases: a fase móvel, representada por um líquido que atravessa o sistema, e a fase estacionária, composta por um material fixo em uma coluna; quando a amostra é introduzida no sistema, seus componentes se separam de acordo com suas características químicas e físicas, como polaridade e tamanho molecular.

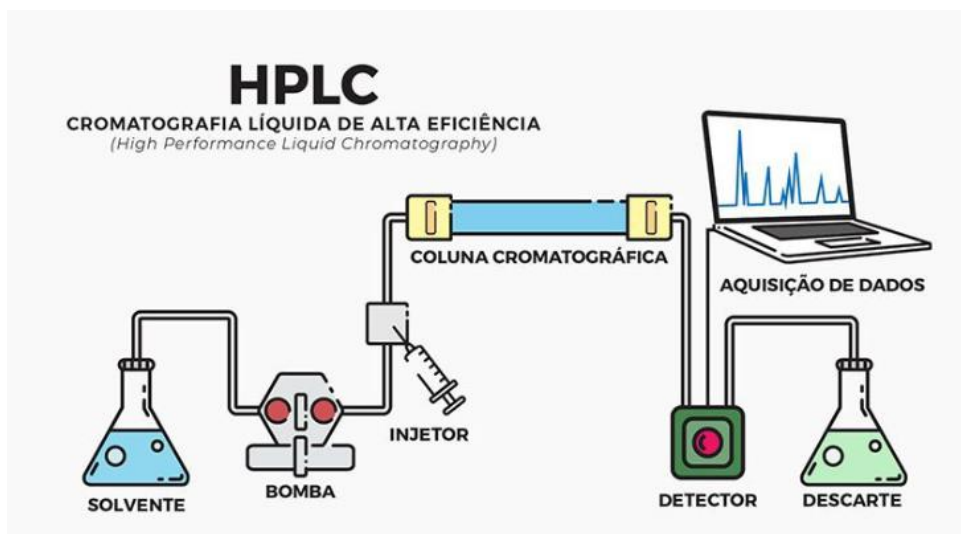
Ademais, Silva (2021, p. 14), faz a seguinte observação:

O desenvolvimento da tecnologia UHPLC é o avanço recente mais importante na técnica de separação por cromatografia líquida. Os sistemas que operam

esta tecnologia trabalham com fase móvel a altas pressões, associado a colunas cromatográfica com partículas de tamanho reduzido, inferiores a 2 μm , e conseguem atingir uma performance de separação superior a aqueles possíveis com tecnologias anteriores.

A estrutura física da CLAE/HPLC é composta pela bomba, injetor, coluna cromatográfica, detector e sistema de controle/aquisição de dados (Kasvi, 2024), no qual é detalhado na figura a seguir (Figura 1).

Figura 1 - Estrutura da cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE / HPLC)



Fonte: Kasvi (2024).

Entre as principais vantagens dessa técnica está a possibilidade de realizar análises rápidas e altamente sensíveis, detectando substâncias mesmo em concentrações muito baixas; esse fator é especialmente relevante para a indústria farmacêutica, onde a garantia da pureza dos compostos é essencial (Laboratório, 2024a)

O autor supracitado também destaca que, a CLAE pode ser combinada com outras técnicas analíticas, como a espectrometria de massas, permitindo uma caracterização mais detalhada dos compostos estudados; essa versatilidade amplia suas aplicações, tornando-a uma ferramenta fundamental tanto para a pesquisa científica quanto para o controle de qualidade em diversos setores industriais.

Em resumo, a CLAE é uma técnica fundamental para a separação de componentes de misturas líquidas, destacando-se pela alta precisão e eficácia na resolução de misturas complexas. O princípio de funcionamento dessa técnica

envolve a interação entre a fase móvel, um líquido que atravessa o sistema, e a fase estacionária, um material fixo na coluna. Essa separação ocorre com base nas características químicas e físicas dos componentes, como polaridade e tamanho molecular. Seu avanço tecnológico aumentou ainda mais sua eficiência, permitindo uma separação superior.

A estrutura física, composta por componentes como bomba, injetor, coluna cromatográfica e detector, facilita essa análise detalhada. De acordo com Laboranálise Laboratório (2024a), essa cromatografia é essencial na indústria de alimentos e bebidas, desempenhando um papel fundamental na garantia de segurança, qualidade e autenticidade dos produtos consumidos e com a crescente exigência por alimentos seguros e de alta qualidade, o papel da CLAE nesse setor segue se tornando cada vez mais relevante.

Uma das maiores vantagens dessa técnica é a capacidade de realizar análises rápidas e altamente sensíveis, essenciais para a indústria farmacêutica e outras áreas. Além disso, sua versatilidade, ao ser combinada com técnicas como a espectrometria de massas, amplia suas aplicações, tornando-a fundamental para a pesquisa científica e o controle de qualidade em diversos setores industriais. Portanto, é uma ferramenta indispensável tanto no desenvolvimento de novos produtos quanto na garantia da qualidade e segurança de produtos existentes.

5.1.2.2 Cromatografia em camada delgada (CCD)

Esse tópico tem como objetivo apresentar uma visão geral sobre a CCD, abordando sua definição e funcionamento, quantificação da amostra. A estrutura e os materiais utilizados na técnica e a mistura de solventes, serão analisados. A escolha do eluente, que é essencial para uma separação eficiente, será destacada e será abordado o fator de retenção (R_f). Por fim, será apresentado um exemplo ilustrativo de preparação da cromatografia em camada delgada para facilitar a compreensão do processo.

Do inglês, *Thin Layer Chromatography* (TCL), é um método de separação baseado na adsorção líquido-sólido, onde os componentes de uma mistura são separados conforme sua afinidade com a fase estacionária e a fase móvel; é considerado um procedimento rápido, pois permite analisar múltiplas amostras

simultaneamente em um único cromatograma, possibilitando a realização de análises paralelas da amostra estudada (Garcia *et al.*, 2021).

De acordo com Goulart (2024), para quantificar uma amostra por meio dessa técnica, é comum seguir um procedimento analítico que consiste em comparar a mancha gerada pela amostra com a de um padrão conhecido, também chamado de Substância Química de Referência (SQR). O autor ainda ressalta que a técnica envolve:

Fase estacionária: Placa de vidro ou alumínio com uma fina camada de adsorvente, que geralmente é de sílica gel, aplicada uniformemente em toda a extensão da placa; Fase móvel: Geralmente trata-se de uma mistura de solventes que é aplicada em uma cuba de vidro, que serve como câmara, que permite o solvente migrar através da fase estacionária por capilaridade [...]; Separação: Os componentes da amostra e do padrão referência interagem de maneira diferente com a fase estacionária e a fase móvel, resultando em diferentes pontos de migração ao longo da placa, levando a separação por afinidade (Goulart, 2024, p. 1).

O autor supracitado complementa o procedimento citando os materiais que são utilizados para fazer essa técnica: "Placa de CDD [...]; Padrão SQR; Amostra a ser analisada; Solventes; Pipetas; Tanque de desenvolvimento (Cuba de vidro com tampa)".

A escolha do eluente é essencial para garantir uma separação eficiente, já que seu papel é transportar as substâncias ao longo do sistema cromatográfico; na CCD, ele pode ser utilizado sozinho ou combinado com outros eluentes, no entanto, para uma separação mais eficaz, a mistura de dois ou mais eluentes é frequentemente preferida; a velocidade com que o eluente se desloca sobre a camada depende de fatores como polaridade, tensão superficial e viscosidade (Garcia *et al.*, 2021).

Um dos parâmetros mais utilizados em cromatografia é o fator de retenção (R_f) de um composto, que depende tanto da fase estacionária quanto do eluente utilizado; o R_f indica a relação entre a distância percorrida por uma substância (d_c) e a distância percorrida pelo eluente (d_s) e é calculado dividindo a distância percorrida pela substância, pela distância percorrida pelo eluente, permitindo comparar e identificar diferentes compostos, a fórmula fica $R_f = d_c / d_s$ (UFJF, 2018).

Para uma compreensão mais clara de como funciona essa cromatografia, um exemplo de uma preparação de uma CCD está ilustrado abaixo (Figura 2).

Figura 2 - Preparação de uma cromatografia em Camada Delgada



Fonte: Cavalcanti (2020)

A CCD é uma técnica eficaz de separação baseada na adsorção líquido-sólido, permitindo a análise rápida e simultânea de múltiplas amostras. Sua capacidade de realizar análises paralelas torna-a uma ferramenta valiosa em laboratórios, especialmente quando combinada com o uso de padrões conhecidos, como a SQR, para quantificação precisa.

A técnica envolve a interação dos componentes da amostra com a fase estacionária e móvel, resultando em uma separação eficiente de acordo com suas afinidades. A escolha adequada do eluente é essencial para garantir uma boa separação, influenciada por fatores como polaridade e viscosidade. Além disso, o Rf é uma ferramenta importante para comparar e identificar compostos, contribuindo para a eficácia da técnica.

A CCD é uma técnica no qual sua popularidade e ampla aceitação decorrem, principalmente, de três características fundamentais que a tornam uma escolha versátil e eficiente para análises qualitativas e quantitativas: a simplicidade de sua execução, a rapidez na obtenção de resultados e o baixo custo de implementação e manutenção (Garcia *et al.*, 2021).

Essa simplicidade e flexibilidade a tornam um procedimento indispensável para a análise de substâncias em diversas áreas da ciência e indústria, como farmacologia, química e controle de qualidade.

5.1.2.3 Cromatografia gasosa (CG)

Esse tópico tem como objetivo apresentar uma visão abrangente sobre a CG, abordando sua definição, aplicação e funcionamento, destacando seu uso para separar, identificar, quantificar e purificar compostos em diversas áreas como a química, farmacologia e indústria alimentícia.

A instrumentação e quantificação da técnica serão discutidas, incluindo o uso do cromatógrafo a gás para separar os componentes da amostra e a comparação com amostras padrão para determinar a concentração. Além disso, serão analisadas as vantagens da cromatografia gasosa e seus desafios. Por fim, será apresentado um exemplo ilustrativo de como a CG é aplicada para fornecer uma compreensão mais clara do processo.

Do inglês, *Gas Chromatography* (GC), é uma técnica de análise que pode ser aplicada em diversas áreas, essa técnica não se limita apenas à identificação e caracterização de compostos, mas também pode ser usada para quantificar e purificar substâncias, já que seu principal objetivo é realizar a separação de diferentes componentes (Gasperin *et al.*, 2017).

Nessa técnica, utiliza-se a eluição, onde uma corrente de gás flui continuamente pela coluna, no qual a amostra vaporizada é rapidamente introduzida nessa corrente de gás, ela é transportada ao longo da coluna; à medida que as substâncias presentes na amostra são separadas, elas chegam ao detector, que gera um sinal registrado e processado por um sistema de análise de dados (Barbosa, 2018).

Complementando o conceito e funcionamento da CG, Nascimento *et al.* (2018, p. 16), mencionam:

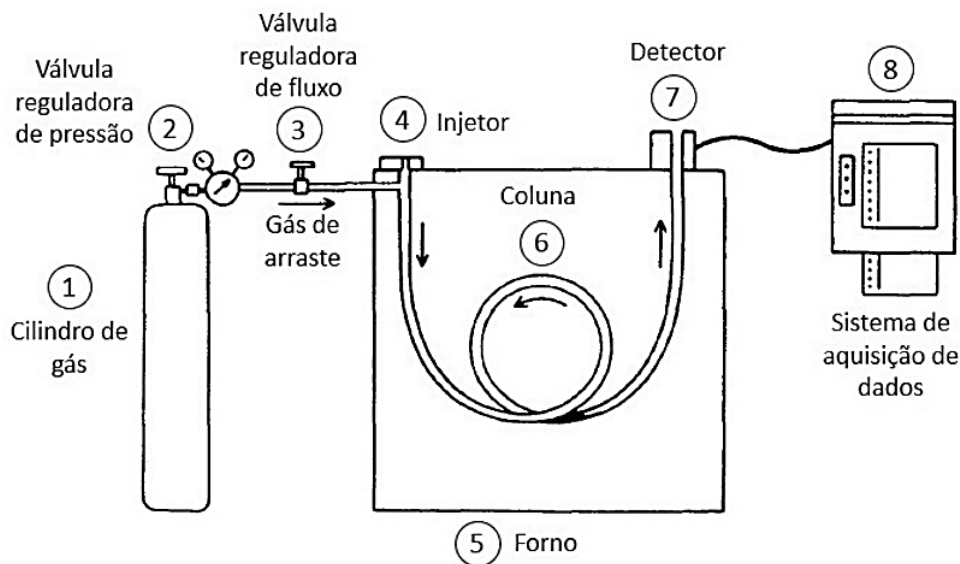
A cromatografia gasosa é um processo de separação em que a fase móvel é um gás, e a fase estacionária é um sólido (cromatografia gás-sólido) ou um líquido (cromatografia gás-líquido). Na cromatografia gás-líquido, temos um gás passando por uma coluna com um líquido de alta viscosidade revestindo as suas paredes internas [...] as colunas em CG são colunas empacotadas e de maior diâmetro.

O cromatógrafo a gás é um instrumento que mede o conteúdo de vários componentes em uma amostra utilizando a técnica de cromatografia gasosa; a amostra é injetada no cromatógrafo e transportada por uma corrente de gás, até um tubo de separação chamado "coluna", onde os diferentes componentes da amostra são separados (Shimadzu, s.d.).

O autor supracitado complementa que, o detector mede a quantidade de cada componente à medida que eles saem da coluna; para determinar a concentração de uma amostra desconhecida, uma amostra padrão com concentração conhecida é também injetada; então o tempo de retenção e a área do pico da amostra padrão são comparados com os da amostra testada para calcular a concentração (Shimadzu, s.d.).

A figura 3 mostra uma representação de um cromatógrafo a gás, para uma compreensão melhor do tema.

Figura 3 - Representação de um cromatógrafo a gás para técnica de cromatografia gasosa



Fonte: Barbosa (2018).

De modo geral, a CG é uma técnica analítica fundamental, amplamente utilizada para a separação, identificação, quantificação e purificação de compostos em diversas áreas, como química, farmacologia e indústria alimentícia. Ao utilizar a eluição com uma corrente de gás que transporta a amostra pela coluna de separação,

a CG permite uma análise eficiente, com a geração de um sinal registrado e processado para a determinação dos componentes presentes na amostra.

A técnica é baseada na interação entre a fase móvel (gás) e a fase estacionária (sólido ou líquido), o que facilita a separação dos compostos pela coluna. Por meio de um cromatógrafo a gás, é possível medir a quantidade dos componentes à medida que eles saem da coluna, com a ajuda de amostras padrão para determinar a concentração dos compostos na amostra analisada.

A CG possui vantagens, como alta sensibilidade, rapidez e versatilidade, tornam-na uma ferramenta essencial para a detecção e quantificação de compostos em diferentes amostras; no entanto, é fundamental também considerar os desafios associados ao seu uso, como a limitação na análise de compostos não voláteis e a necessidade de pré-tratamento das amostras; ao compreender tanto seus benefícios quanto as dificuldades, os profissionais podem tomar decisões mais informadas sobre sua aplicação; dessa forma, a CG se mantém como uma técnica valiosa, capaz de contribuir significativamente para a qualidade e segurança de produtos em diversas indústrias quando utilizada de maneira adequada (Laboranálise Laboratório, 2024b).

5.1.3 Espectrometria de massas (EM)

Esse tópico tem como finalidade apresentar um conhecimento sobre a EM, abordando sua definição e aplicação em diversas áreas científicas e industriais e sua importância. O processo de ionização, onde as moléculas são convertidas em íons para serem analisadas, será explicado, além de como o analisador de massa separa os íons com base em suas razões massa/carga (m/z) e como o detector gera um espectro de massa, que possibilita a identificação dos componentes da amostra. E para melhor compreensão, será fornecido um exemplo ilustrativo da EM de massas.

Do inglês, *Mass Spectrometry* (MS), é uma técnica analítica avançada que possibilita a separação, identificação e quantificação de íons, caracterização molecular e estrutural das amostras, por meio de sua composição elementar e com base em suas massas e cargas elétricas (Vieira, 2023).

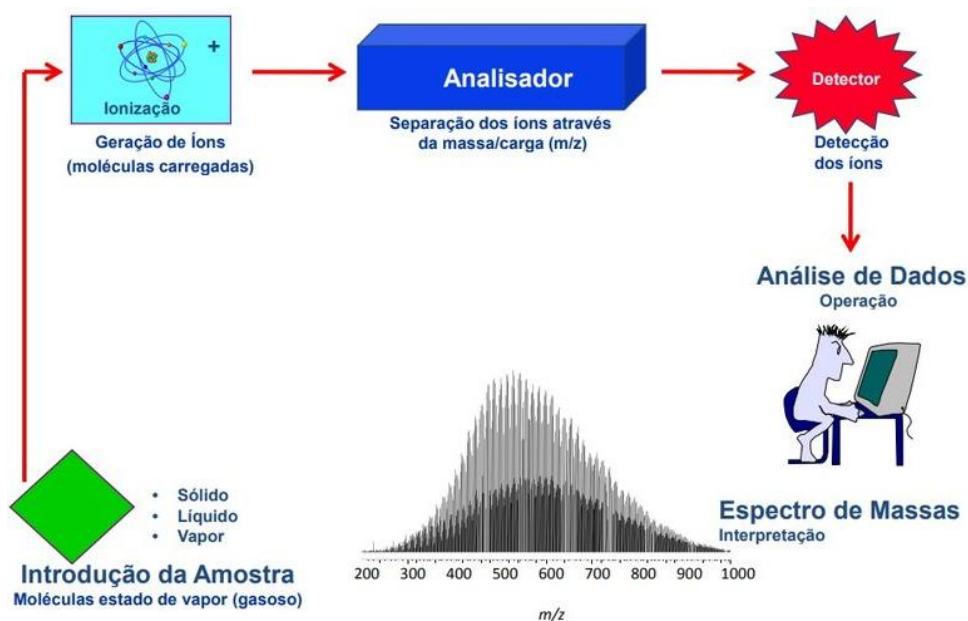
O autor supracitado complementa que essa técnica se destaca pela alta sensibilidade e precisão na determinação da composição molecular de substâncias; abrange áreas como química, biologia, farmacologia, controle de qualidade,

desenvolvimento de novos produtos, saúde pública, monitoramento ambiental e agricultura e é uma ferramenta fundamental para a compreensão das propriedades químicas e a detecção de compostos em uma vasta gama de contextos científicos e industriais.

Algumas análises importantes feitas com a EM são de resíduos e contaminantes em amostras de alimentos de origem animal e vegetal, de resíduos e contaminantes em amostras ambientais, de resíduos de drogas de abuso e, análises clínicas, farmacêuticas, alimentícias, forenses (Siqueira, 2018; Merck, s.d.).

A figura 4 apresenta uma ilustração da espectrometria de massa, visando proporcionar uma melhor compreensão do assunto.

Figura 4 - Representação da espectrometria de massa



Fonte: Segundo (2018).

O processo de EM começa a ionização da amostra, onde as moléculas são convertidas em íons; na câmara iônica do espectrômetro, cada molécula é ionizada, formando íons moleculares, que passam a se fragmentar em íons menores, gerando múltiplos fragmentos; esses íons são então acelerados por um campo eletromagnético e separados com base em suas razões massa/carga (m/z) por meio de um analisador de massa (Vieira, 2023; Merck, s.d.).

Os autores supracitados acrescentam que, após a separação, o detector registra os sinais dos íons, gerando um espectro de massa que reflete sua abundância relativa; a partir desse espectro, é possível identificar os componentes da amostra,

comparando os dados com bancos de dados de espectros conhecidos ou utilizando técnicas de fragmentação para obter informações adicionais sobre a estrutura molecular da amostra.

A EM é uma técnica analítica avançada fundamental para a análise detalhada de substâncias químicas, permitindo a separação, identificação e quantificação de íons, além da caracterização molecular e estrutural das amostras. Sua alta sensibilidade e precisão a tornam indispensável em diversos campos, como química, biologia, farmacologia, saúde pública, e monitoramento ambiental, entre outros. A técnica é essencial para a detecção de contaminantes e resíduos em alimentos, amostras ambientais, análises clínicas e forenses.

O processo de espectrometria, que inclui a ionização das amostras, separação dos íons com base em sua razão massa/carga e a detecção desses íons para a criação de um espectro de massa, oferece informações precisas sobre a composição e estrutura das substâncias. A importância da EM, portanto, reside em sua capacidade de fornecer uma análise detalhada e confiável, fundamental para a compreensão das propriedades químicas e a detecção de compostos em diversos contextos científicos e industriais.

5.2 Legislação e regulamentação

A regulamentação das micotoxinas em alimentos e rações é uma preocupação crescente em diversos países, devido aos riscos que essas substâncias representam à saúde humana e animal. Para minimizar esses impactos, diversos países estabeleceram LMT para micotoxinas em produtos alimentícios, a fim de garantir a segurança alimentar e regular o comércio internacional de alimentos. Embora exista variação nos limites estabelecidos entre diferentes regiões, observa-se uma tendência mundial de harmonização baseada em avaliações de risco e evidências científicas. Fora do Brasil, destacam-se os marcos regulatórios da União Europeia, Estados Unidos, Canadá, países asiáticos e organismos internacionais como o *Codex Alimentarius*.

A União Europeia (UE) é considerada referência mundial na regulamentação de micotoxinas, dispondo de legislação rigorosa estabelecida pelo Regulamento (CE) nº 1831/2003, que fixa limites máximos para contaminantes em alimentos; em abril de

2023, a UE adotou o Regulamento (UE) 2023/915, que substituiu o anterior Regulamento (CE) nº 1881/2006 no qual, este novo regulamento consolida e atualiza os limites máximos permitidos para diversas micotoxinas em alimentos, visando simplificar e harmonizar as normas existentes (EC, 2023; Mérieux Nutrisciences, 2023). Além disso, em junho de 2024, foram introduzidos novos limites para DON, T-2 através dos Regulamentos (UE) 2024/1022 e 2024/1038, refletindo a preocupação contínua com a presença dessas toxinas em produtos alimentícios (AGQ Labriagro, 2024).

Nos Estados Unidos, a regulamentação das micotoxinas é realizada principalmente pela *Food and Drug Administration* (FDA), que atualizou em setembro de 2024, o Programa de Conformidade para Micotoxinas em Alimentos Domésticos e Importados; essa atualização incluiu o monitoramento adicional das toxinas T-2 e ZEN, além da implementação de um método multimicotoxinas que permite a detecção simultânea de várias micotoxinas em uma única análise (FDA, 2021; FDA, 2024).

No Canadá, a *Canadian Food Inspection Agency* (CFIA) estabelece normas baseadas em princípios semelhantes aos da FDA, com limites recomendados para AF, OTA, ZEN e DON; a abordagem canadense segue uma avaliação baseada em risco, visando proteger grupos vulneráveis e assegurar a qualidade dos produtos agrícolas (CFIA, 2018). Em 3 de julho de 2024, o Canadá promulgou o *Feeds Regulations*, substituindo as regulamentações anteriores de 1983, no qual, este novo regulamento aborda, entre outros aspectos, a presença de contaminantes como micotoxinas em rações animais, reforçando a necessidade de monitoramento e controle rigorosos para garantir a segurança alimentar (GC, 2024).

Na Ásia, países como China, Japão e Índia também possuem regulamentações específicas; a China regula diversas micotoxinas por meio dos *GB National Food Safety Standards*, com limites máximos para AF, OTA, DON, FUM e ZEN, aplicados tanto a alimentos quanto a rações (USDA, 2018a). O Japão adota um limite de 10 ppb para AF totais em alimentos (USDA, 2018b). Na Índia, a *Food Safety and Standards Authority of India* (FSSAI) estipula limites para AF, especialmente em grãos, oleaginosas e leite, com valores alinhados às recomendações do *Codex Alimentarius* (FSSAI, 2021).

O *Codex Alimentarius*, desenvolvido pela FAO em conjunto com a OMS, estabelece limites máximos para diversas micotoxinas com base em avaliações

toxicológicas e práticas de comércio internacional; esses limites visam proteger a saúde pública e facilitar o comércio global de alimentos (WU, 2014).

Portanto, embora existam variações nas legislações, há um movimento contínuo de países e blocos econômicos rumo à padronização dos limites de micotoxinas, com base em evidências científicas e recomendações internacionais. A regulamentação efetiva das micotoxinas é fundamental não apenas para garantir a segurança alimentar, mas também para reduzir os riscos significativos que essas substâncias tóxicas representam à saúde humana.

Além das implicações para a saúde pública, a presença de micotoxinas acima dos limites tolerados gera impactos econômicos consideráveis no comércio internacional de alimentos. Produtos contaminados frequentemente enfrentam barreiras comerciais, rejeições em portos internacionais, resultando em perdas financeiras substanciais para produtores e exportadores.

A harmonização das regulamentações internacionais é essencial para evitar disputas comerciais e garantir fluidez e segurança nas transações internacionais. Além disso, a constante atualização e harmonização dessas regulamentações, baseadas em evidências científicas de risco, demonstram o compromisso global em proteger consumidores e produtores, assegurando a qualidade dos alimentos comercializados mundialmente.

5.3 Legislação brasileira

As micotoxinas são metabólitos tóxicos produzidos por fungos que podem contaminar alimentos e rações, representando riscos significativos à saúde humana e animal. Devido à sua relevância para a segurança alimentar, diversos países estabeleceram regulamentações específicas para controlar os níveis dessas substâncias nos produtos alimentícios.

No Brasil, a ANVISA é o órgão responsável por estabelecer os LMT de micotoxinas em alimentos. A legislação brasileira referente ao controle de micotoxinas em alimentos tem passado por atualizações significativas nos últimos anos, visando assegurar a segurança alimentar e proteger a saúde pública, portanto, este tópico apresenta uma análise das principais normativas brasileiras referentes ao controle de micotoxinas.

A primeira regulamentação específica sobre micotoxinas no Brasil foi a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 7, de 18 de fevereiro de 2011, que estabeleceu os LMT para diversas micotoxinas em diferentes categorias de alimentos, no qual, essa resolução definiu limites para AF (B1, B2, G1, G2 e M1), OTA, DON, FUM (B1 e B2), PAT e ZEN (ANVISA, 2011). Posteriormente, a RDC nº 138, de 8 de fevereiro de 2017, alterou a RDC nº 7/2011, ajustando os LMT para o DON em trigo e produtos derivados, além de modificar os prazos para sua aplicação (ANVISA, 2017).

Em 26 de março de 2021, a ANVISA publicou a RDC nº 487, que dispõe sobre os LMT de contaminantes em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade; essa resolução revogou diversas normativas anteriores, incluindo a RDC nº 7/2011 e a RDC nº 138/2017, consolidando e atualizando os limites estabelecidos (ANVISA, 2021a). Complementarmente, a Instrução Normativa (IN) nº 88, de 26 de março de 2021, estabeleceu os LMT de metais, micotoxinas e outros contaminantes em alimentos; o Anexo II dessa IN especifica os limites para micotoxinas, abrangendo substâncias como AF, OTA, DON, FUM, PAT e ZEN em diferentes categorias de alimentos (ANVISA, 2021b).

Mais recentemente, em 1º de julho de 2022, foi publicada a IN nº 160, que atualizou os LMT de contaminantes em alimentos, incluindo micotoxinas; essa normativa visa harmonizar os padrões nacionais com as diretrizes internacionais, assegurando maior proteção à saúde pública e facilitando o comércio internacional de alimentos (ANVISA, 2022).

A legislação brasileira sobre micotoxinas em alimentos tem evoluído significativamente nos últimos anos, refletindo a preocupação contínua com a segurança alimentar e a saúde pública. As atualizações normativas demonstram o compromisso da ANVISA em estabelecer limites claros e baseados em evidências científicas para a presença de micotoxinas em alimentos. É fundamental que os produtores, distribuidores e comerciantes estejam atentos às regulamentações vigentes, garantindo que os produtos comercializados atendam aos padrões estabelecidos e assegurem a proteção dos consumidores.

5.4 LMT Internacional e no Brasil

As micotoxinas representam uma ameaça significativa à segurança alimentar global, devido ao seu potencial tóxico e carcinogênico, impactando diretamente a saúde humana e animal, além do comércio internacional de alimentos. Devido a esses riscos, diversos países e organismos internacionais têm estabelecido LMT para as principais micotoxinas encontradas em alimentos. A seguir, no quadro 3, apresenta-se uma tabela comparativa que sintetiza os LMT adotados pelo Brasil, União Europeia, Estados Unidos, Canadá, China, Japão, Índia e pelo *Codex Alimentarius* para as micotoxinas mais relevantes, como AF/AFL, FUM, OTA, PAT, TCTC (em específico o DON) e ZEN.

Quadro 3 - LMT de micotoxinas por país (2022-2024)

	AFL	FUM	OTA	PAT	DON	ZEN
Brasil (µg/kg)	10	1000	5	50	750	100
União Europeia (µg/kg)	4	1000	3	50	750	100
EUA (µg/kg)	20	2000	não regulado	50	1000	não regulado
Canadá (µg/kg)	15	2000	não regulado	50	1000	não regulado
China (µg/kg)	10	1000	5	50	1000	60
Japão (µg/kg)	10	não regulado	não regulado	50	1100	não regulado
Índia (µg/kg)	30	2000	20	50	1000	100
Codex (µg/kg)	15	2000	5	50	1000	100

Fonte: Adaptado de ANVISA (2022), EC (2023), FDA (2024), FSSAI (2021), GC (2024), USDA (2018a), USDA (2018b) e Wu (2014).

A partir da tabela apresentada, observa-se uma variabilidade significativa nos limites máximos tolerados para micotoxinas entre diferentes países e regiões, refletindo particularidades na abordagem de risco e nas políticas de segurança alimentar adotadas em cada localidade. A harmonização desses limites é essencial para minimizar barreiras comerciais, garantir proteção adequada à saúde humana e facilitar o comércio global de alimentos seguros. Destaca-se, portanto, a importância do alinhamento contínuo das regulamentações nacionais com padrões internacionais reconhecidos, como aqueles definidos pelo *Codex Alimentarius*, para assegurar a segurança alimentar global e reduzir o impacto econômico das micotoxinas sobre o mercado internacional.

6 PREVENÇÃO E CONTROLE

As micotoxinas são compostos tóxicos produzidos por fungos filamentosos que contaminam alimentos e rações desde a produção agrícola até o armazenamento e processamento industrial; a presença dessas substâncias nos alimentos representa um risco significativo à saúde pública, sendo associada a efeitos imunotóxicos, hepatotóxicos, nefrotóxicos e até carcinogênicos; diante disso, estratégias eficazes de prevenção e controle são fundamentais para reduzir sua ocorrência e garantir a segurança alimentar (EEA, 2023).

No ambiente agrícola, diversas medidas podem ser adotadas ao longo da cadeia produtiva para evitar a formação de micotoxinas. A escolha de cultivares resistentes às infecções fúngicas é uma das primeiras estratégias de mitigação, pois determinadas variedades apresentam menor suscetibilidade à contaminação por fungos como *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* (Samarajeewa, 2022).

O autor supracitado complementa que, a rotação de culturas e o plantio em períodos adequados do ano também contribuem para diminuir a incidência de microrganismos patogênicos, visto que reduzem o acúmulo de esporos no solo e evitam situações de estresse hídrico ou alta umidade, que favorecem o crescimento fúngico; além disso, o controle eficaz de pragas é essencial, pois danos causados por insetos nos grãos favorecem a penetração de fungos toxigênicos.

Outro aspecto importante está relacionado às práticas de colheita e pós-colheita; a colheita realizada no momento correto, seguida de secagem eficiente dos grãos até níveis seguros de umidade, geralmente inferiores a 13%, é essencial para inibir o crescimento de fungos; o armazenamento, por sua vez, deve ocorrer em locais limpos, secos, ventilados e protegidos contra pragas; ambientes com alta umidade ou temperatura descontrolada favorecem a produção de micotoxinas mesmo após a colheita, o que reforça a importância de boas práticas contínuas (DAOU *et al.*, 2021).

Quando a contaminação por micotoxinas já ocorreu, o desafio é reduzir ou eliminar os níveis dessas toxinas sem comprometer a qualidade e segurança dos alimentos; nesse contexto, métodos de descontaminação vêm sendo cada vez mais estudados e aplicados; a separação física de grãos danificados, por exemplo, é uma técnica simples e eficaz, pois esses grãos tendem a concentrar maiores quantidades de micotoxinas (Nguyen *et al.*, 2023). Tratamentos térmicos, como extrusão e

cozimento sob alta pressão, podem reduzir parcialmente a concentração de toxinas, embora muitas delas sejam termoestáveis (Wang *et al.*, 2024).

Outra abordagem envolve o uso de adsorventes, como argilas e compostos minerais, que se ligam às micotoxinas no trato gastrointestinal de animais, reduzindo sua absorção (Damato *et al.*, 2022). O uso de agentes químicos, como ozônio e hidróxido de amônio, também tem sido explorado para degradar micotoxinas, embora seu uso deva respeitar regulamentações específicas para evitar a formação de subprodutos tóxicos (Pande *et al.*, 2024). Tecnologias mais recentes vêm investindo na biotransformação enzimática e microbiana, que utilizam enzimas ou microrganismos capazes de modificar ou degradar micotoxinas em compostos não tóxicos, representando uma alternativa promissora para a indústria alimentícia (Nguyen *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2024).

Portanto, o controle eficaz das micotoxinas deve integrar ações preventivas no campo com estratégias de descontaminação durante o processamento e armazenamento. A combinação dessas abordagens, aliada à fiscalização rigorosa e ao monitoramento contínuo, é essencial para garantir alimentos seguros, minimizar perdas econômicas e atender aos padrões exigidos pela legislação nacional e internacional.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente monografia permitiu compreender a complexidade e relevância do estudo das micotoxinas no contexto da segurança alimentar e da saúde pública. A partir da análise dos principais tipos de micotoxinas, como aflatoxinas, fumonisinas, ocratoxinas, patulina, tricotecenos e zearalenona, foi possível identificar seus mecanismos de ação, os danos que causam ao organismo humano e animal, bem como os alimentos mais comumente contaminados. Os dados evidenciam que essas substâncias, produzidas por fungos filamentosos em condições específicas de temperatura, umidade e armazenamento, representam um risco silencioso e persistente, especialmente em países de clima tropical, como o Brasil.

A abordagem metodológica adotada, baseada em revisão narrativa da literatura científica nacional e internacional, possibilitou explorar desde os aspectos conceituais até as estratégias práticas de prevenção, controle e detecção de micotoxinas. Foram identificadas técnicas promissoras de manejo agrícola, uso de adsorventes, tratamentos térmicos, químicos e biológicos, além de inovações em biomarcadores que auxiliam na detecção precoce da contaminação em seres humanos e alimentos. Também foram discutidas as legislações vigentes, tanto no Brasil quanto no exterior, evidenciando os esforços regulatórios para limitar a presença dessas toxinas na cadeia produtiva.

Apesar dos avanços observados, a temática ainda carece de maior atenção por parte das autoridades sanitárias, instituições de pesquisa e profissionais da saúde e da alimentação. A escassez de dados epidemiológicos robustos, o subdiagnóstico dos efeitos crônicos das micotoxinas e as limitações nos métodos de detecção apontam para a necessidade de aprofundamento científico contínuo. Investir em estudos multidisciplinares, monitoramentos regulares e políticas públicas voltadas à prevenção da contaminação alimentar é essencial para reduzir riscos à saúde e às perdas econômicas.

A relevância do tema reforça a necessidade de maior investimento em políticas públicas, monitoramento contínuo, educação alimentar e desenvolvimento tecnológico para mitigar os riscos associados à ingestão de micotoxinas. A integração entre a ciência, o setor produtivo e os órgãos de regulação é essencial para garantir alimentos mais seguros e saudáveis à população. Dessa forma, conclui-se que o estudo das micotoxinas não apenas contribui para o avanço do conhecimento

acadêmico, mas também tem impacto direto na promoção da saúde e na prevenção de agravos evitáveis por meio de uma alimentação mais controlada e segura.

REFERÊNCIAS

AGQ LABRIAGRO. Detecção de micotoxinas em cereais. **AGQ Labriagro**. Vila do Conde – Portugal, 2024. Disponível em: <https://agqlabs.pt/2024/06/detecao-de-micotoxinas-em-cereais/>. Acesso em: 5 abr. 2025.

ALLAI, Farhana Mehraj *et al.* Recent advances in non-thermal processing technologies for enhancing shelf life and improving food safety. **Applied Food Research**, Amsterdã – Holanda, v. 3, n. 1, p. 100-258, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100258>. Acesso em: 01 jun. 2024.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos**. Brasília - Brasil, 2011. Disponível em: https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00000007&sgl_tipo=RDC&sgl_orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&vlr_ano=2011&seq_ato=000&cod_modulo=310&cod_menu=9434. Acesso em: 4 abr. 2025.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 138, de 8 de fevereiro de 2017**. Altera a Resolução da Diretoria Colegiada – 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 desoxinivalenol (DON) em trigo e produtos de trigo prontos para oferta ao consumidor e os prazos para sua aplicação. Brasília - Brasil, 2017. Disponível em: https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00000138&sgl_tipo=RDC&sgl_orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&vlr_ano=2017&seq_ato=000&cod_modulo=310&cod_menu=9434. Acesso em: 4 abr. 2025.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 487, de 26 de março de 2021**. Dispõe sobre os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos, os princípios gerais para o seu estabelecimento e os métodos de análise para fins de avaliação de conformidade. Brasília - Brasil, 2021a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-487-de-26-de-marco-de-2021-311593455>. Acesso em: 4 abr. 2025.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Instrução Normativa – IN nº 88, de 26 de março de 2021**. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Brasília - Brasil, 2021b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-in-n-88-de-26-de-marco-de-2021-311593878>. Acesso em: 4 abr. 2025.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Instrução Normativa – IN nº 160, de 1º de julho de 2022**. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Brasília - Brasil, 2022. Disponível em: <https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&>

num_ato=00000722&sgl_tipo=RDC&sgl_orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&vlr_ano=2022&seq_ato=002&cod_modulo=310&cod_menu=9434. Acesso em: 4 abr. 2025.

ARAÚJO, Dagma Diosínia da Silva *et al.* **Relação entre o teor de amido e a concentração de fumonisinas totais em milho cultivado em três sistemas de produção.** Sete Lagoas – MG: Embrapa, 2023, p. 20. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1159475>. Acesso em: 06 abr. 2024.

ARRUDA, Adriana Dias; BERETTA, Ana Laura Remédio Zeni. Micotoxinas e seus efeitos à saúde humana: revisão de literatura. **RBAC**, Rio de Janeiro - RJ, v. 51, n. 4, p. 286-289, 2019. Disponível em: <https://rbac.org.br/wp-content/uploads/2020/04/RBAC-vol-51-4-2019-ref-779.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BARBOSA, Livia Domingos. **Cromatografia gasosa aplicada na análise de gases de pirólise de *Eucalyptus Urophylla*.** 2018. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia - MG, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20910>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BARROS, Amanda Edling de. **Remoção de ocratoxina A por leveduras.** 2022. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Faculdade de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Curitiba – PR, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31401>. Acesso em: 28 abr. 2024.

BASSO, Tatiane. **Quantificação de patulina em sucos de maçã disponíveis no mercado sul brasileiro.** 2019. 91 f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) - Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Ciências da Saúde, Porto - Portugal, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10284/8508>. Acesso em: 01 jun. 2024.

BIÕNTE TECHNICAL DEPARTMENT. **Biomarcadores de exposição a micotoxinas.** São Paulo - SP, 2023. Disponível em: <https://www.bionte.com/pt/biomarcadores-exposicao-micotoxinas/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRAGA, Carolinne Melo Salgado Ribeiro *et al.* Detecção presuntiva de aflatoxinas em amendoins comercializados na cidade do Recife, PE, Brasil. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, Recife - PE, v. 29, n. 2, p. 141-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.14450/2318-9312.v29.e2.a2017.pp141-146>. Acesso em: 28 mar. 2024.

BRAVO, Juan Carlos Medina *et al.* Evaluation of the efficacy of two toxin binders in reducing the toxic effects of zearalenones in gilts: Avaliação da eficácia de dois aglutinantes tóxicos na redução dos efeitos tóxicos das zearalenonas nas marrãs. **Studies in Health Sciences**, Puebla - México, v. 3, n. 2, p. 886-892, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.54022/shsv3n2-022>. Acesso em: 30 jun. 2024.

CABRAL, Susana Maria. **Adsorção multi-micotoxinas: revisão e estudo de carvões ativados**. 2019. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências, São Paulo – SP, 2019. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_8d61c34d35dbb4d16b49669ddc1e9118. Acesso em: 01jun. 2024.

CAVALCANTI, Ana Beatriz. Resumo de cromatografia em camada delgada. **Passei Direto**, São Paulo – SP, 2020. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/85197629/resumo-de-cromatografia-em-camada-delgada>. Acesso em: 7 fev. 2025.

CFIA. CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY. **Multi-Mycotoxins in milled grain products and grain-based food**. Ottawa - Canadá, 2018. Disponível em: <https://inspection.canada.ca/en/food-safety-industry/food-chemistry-and-microbiology/food-safety-testing-reports-and-journal-articles/viruses-imported-frozen-scallops-0>. Acesso em: 04 abr. 2025.

CHANG, Susane Cavalcanti. **Identificação de isolados de Fusarium verticillioides micotoxigênicos em grãos de milho no Estado de Pernambuco**. 2014. 144 f. Tese (Pós-Graduação em Biologia de Fungos) - Universidade Federal de Pernambuco, Pós-Graduação de Biologia de Fungos, Recife – PE, 2014. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPE_1c83dcc5cbfbae341bc5e052f8484151/Details. Acesso em: 09 abr. 2024.

CINAR, Ayca; ONBAŞI, Elif. Mycotoxins: The hidden danger in foods. **IntechOpen**. Londres - Inglaterra, p. 1-21, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89001>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CUNHA, Humberto da. A diferença entre Atividade de Água (Aw) e Teor de Umidade nos alimentos. **Food Safety Brasil**, Campinas – SP, 2016. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/diferenca-entre-atividade-de-agua-aw-e-o-teor-de-umidade-nos-alimentos/#:~:text=Observa%C3%A7%C3%A3o:%20Aw%20varia%20numericamente%20de,de%20isoterma%20%E2%80%93%20Umidade%20vs%20Aw>. Acesso em: 09 nov. 2024.

DAMATO, Anna *et al.* Comprehensive Review on the Interactions of Clay Minerals with Animal Physiology and Production. **Frontiers: Frontiers in Veterinary Science**, Lausanne - Suíça, v. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.889612>. Acesso em: 6 abr. 2025.

DANIELA, Magdaleno Rodríguez Ángela. **Determinación de la capacidad de degradación enzimática sobre Zearalenona y Tricotecenos in vitro**. 2021. 65 f. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Cidade de México - México, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000813048>. Acesso em: 02 jun. 2024.

DAOU, Rouaa *et al.* Mycotoxins: Factors influencing production and control

strategies. **AIMS Agriculture and Food**, v. 6, n. 1, p. 416-447, Springfield – Estados Unidos, 2021. Disponível em: <https://www.aimspress.com/article/doi/10.3934/agrfood.2021025>. Acesso em: 06 abr. 2025.

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Regulation (EU) 2023/915**. Setting maximum levels of certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union, Bruxelas - Bélgica, 2023. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0915>. Acesso em: 05 abr. 2025.

EEA. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Mycotoxin exposure in a changing European climate**. Copenhagen - Dinamarca: EEA, 2023. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/mycotoxin-exposure-in-a-changing-european-climate>. Acesso em: 06 abr. 2025.

EFSA. EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. **Health-based guidance value (HBGV) for mycotoxins**. Parma - Itália. 2018. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/pt/science/scientific-committee-and-panels/contam>. Acesso em: 25 mar. 2025.

FELTRIN, Ana Carla Penteado. **Degradação de Tricotecenos A e B por ação enzimática em solução modelo**. 2018. 155 f. Tese (Pós-Graduação em Química Tecnológica e Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2018. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/8299>. Acesso em: 02 jun. 2024.

FDA. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **CPG Sec. 555.400 - Aflatoxinas em alimentos humanos**. Maryland – Estados Unidos, 2021. Disponível em: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/cpg-sec-555400-aflatoxins-human-food>. Acesso em: 5 abr. 2025.

FDA. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **FDA updates mycotoxins in domestic and imported human foods compliance program**. Maryland – Estados Unidos, 2024. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/hfp-constituent-updates/fda-updates-mycotoxins-domestic-and-imported-human-foods-compliance-program>. Acesso em: 5 abr. 2025.

FSSAI. FOOD SAFETY STANDARDS AUTHORITY OF INDIA. **Manual for FSOs. 22 mar. 2021**. Nova Dalhi - Índia, 2021. Disponível em: <https://foodsafetystandard.in/wp-content/uploads/2020/05/MANUAL-FOR-FSOs-22-03-2021.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2025.

GARCIA, Nadia de Oliveira Nascimento *et al.* **Análise densitométrica por cromatografia em camada delgada para quantificação de compostos em misturas complexas – Teste com *Mikania Glomerata***. 2021. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Faculdade Multivix, Faculdade de Engenharia Química, Espírito Santo, 2021. Disponível em: <https://multivix.edu.br/biblioteca/trabalho-de-conclusao-de-curso/>. Acesso em: 07 fev. 2025.

GASPERIN, Katiane de Moraes *et al.* Metodologia analítica – Cromatografia: Método utilizado em diversas áreas ambientais. **Anais do Encontro Nacional de Pós-graduação**, v. 1, n. 1, p. 479-483, 2017. Santos – SP. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/ENPG/article/view/1542>. Acesso em: 10 fev. 2025.

GC. GOVERNMENT OF CANADA. **Regulatory guidance RG-8: Livestock feeds**. Ottawa - Canadá, 2024. Disponível em: <https://inspection.canada.ca/en/animal-health/livestock-feeds/regulatory-guidance/rg-8>. Acesso em: 5 abr. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª edição. São Paulo - SP, Atlas, 2017. Acesso em: 17 ago. 2024.

GIA. GRUPO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL. **Biomarcadores de contaminação ambiental: um enfoque na avaliação histológica para o diagnóstico de impactos**. São Paulo – SP, 2021. Disponível em: <https://gia.org.br/portal/biomarcadores-de-contaminacao-ambiental-um-enfoque-na-avaliacao-histologica-para-o-diagnostico-de-impactos/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

GOULART, Rafael. **Cromatografia em Camada Delgada**. Comunidade Científica, São Paulo – SP, 2024. Disponível em: <https://www.comunidadecientifica.com.br/post/cromatografia-em-camada-delgada>. Acesso em: 7 fev. 2025.

KASVI. **Conheça mais sobre a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)**. Kasvi, São Paulo – SP, 2024. Disponível em: <https://kasvi.com.br/conheca-mais-hplc/>. Acesso em: 04 fev. 2025.

KATSURAYAMA, Aline Machado; TANIWAKI, Marta Hiromi. Fungos e aflatoxinas no arroz: ocorrência e significado na saúde do consumidor. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas - SP, v. 20. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.0617>. Acesso em: 28 de mar. de 2024.

LABORANÁLISE LABORATÓRIO. **6 aplicações da cromatografia líquida de alta eficiência**. Laboranálise Laboratório, São Paulo – SP, 2024a. Disponível em: <https://www.laboranaliselaboratorio.com.br/blog/categorias/artigos/6-aplicacoes-da-cromatografia-liquida-de-alta-eficiencia>. Acesso em: 04 fev. 2025.

LABORANÁLISE LABORATÓRIO. **6 aplicações da cromatografia a gás que você precisa conhecer**. Laboranálise Laboratório, São Paulo – SP, 2024b. Disponível em: <https://www.laboranaliselaboratorio.com.br/blog/categorias/artigos/6-aplicacoes-da-cromatografia-a-gas-que-voce-precisa-conhecer>. Acesso em: 10 fev. 2025.

LIEW, Winnie-Pui-Pui; MOHD-REDZWAN, Sabran. Mycotoxin: Its impact on gut health and microbiota. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, Lausanne – Suíça, v. 8, p. 1-17, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/cellular-and-infection-microbiology/articles/10.3389/fcimb.2018.00060/full>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LOPES, Simone J. S. *et al.* Non-thermal emerging processing technologies: mitigation of microorganisms and mycotoxins, sensory and nutritional properties

maintenance in clean label fruit juices. **Food Research International**, Amsterdã – Holanda, v. 168, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112727>. Acesso em: 01 jun. 2024.

LIU, Mengyu *et al.* Enzymatic detoxification of mycotoxins in food and feed. **Frontiers: Frontiers in Microbiology**, Lausanne – Suíça, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2024.1434987/full>. Acesso em: 06 abr. 2025.

MAIA, Karina Milene *et al.* Micotoxinas e adsorventes na alimentação animal. **Ciência Animal**, Fortaleza – Ceará, v. 31, n. 4, p. 82-91, 2021. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/view/9296>. Acesso em: 01 jun. 2024.

MARTÍNEZ TORRES, Cristhian Camilo; CHAVES SILVA, Diana Carolina. Ocratoxinas y su potencial nefrotóxico. **Revista de nefrologia, diálisis y trasplante**, Buenos Aires – Argentina, v. 39, n. 1, p. 73-81, 2019. Disponível em: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2346-85482019000100009&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 28 abr. 2024.

MERCK. Sigma-Aldrich: **Espectrometria de massa**. Merck, Missouri – Estados Unidos, s.d. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/applications/analytical-chemistry/mass-spectrometry>. Acesso em: 13 fev. 2025.

MÉRIEUX NUTRISCIENCES. **Teores máximos de contaminantes em determinados géneros alimentícios: novo regulamento (UE) 2023/915**. Lyon - França, 2023. Disponível em: <https://www.merieuxnutrisciences.com/pt/teores-maximos-de-contaminantes-em-determinados-generos-alimenticios-novo-regulamento-ue-2023-915/>. Acesso em: 5 abr. 2025.

MOREAU, Regina Lúcia de Moraes; SIQUEIRA, Maria Elisa Pereira Bastos de. **Ciências farmacêuticas: toxicologia analítica: Aflatoxinas | Determinação de Aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 em Amendoim por Cromatografia em Camada Delgada e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Detector por Fluorescência**. 2 ed. Rio de Janeiro – RJ: Guanabara Koogan, 2015. ISBN: 9788527728591. Acesso em: 28 mar. 2024.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* Cromatografia Gasosa: Aspectos teóricos e práticos. E-book. Fortaleza - Ceará: **Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC)**. 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/39260>. Acesso em: 10 fev. 2025.

NEEFF, Diane Valganon de. **Efeitos da administração da aflatoxina, fumonisina e curcumina, isoladas ou associadas, sobre a resposta imunológica humoral e determinação de produtos de biotransformação em frangos de corte**. 2016. 133 f. Tese (Doutorado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, São Paulo – SP, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10284/8508>. Acesso em: 01 jun. 2024.

NGUYEN, Thanh *et al.* Microbial biodegradation of mycotoxins: Current status and prospects. **PubMed: Toxins**, Basel – Suíça, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11598562>. Acesso em: 06 abr. 2025.

NGUYEN, Thanh *et al.* Mycotoxin detoxification in food processing: A review. **MDPI: Toxins**, v. 15, n. 11, p. 478, Basel - Suíça, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6651/16/11/478>. Acesso em: 06 abr. 2025.

OLIVEIRA, Dillaine Henig de *et al.* Ocorrência de fumonisinas em milho e derivados, destinados à alimentação humana. **Brasilian Journal of Development**, São José dos Pinhais – PR, v. 6, n. 5, p.31305-31321, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-550>. Acesso em: 06 abr. 2024.

OLIVEIRA, Maisa Carla de *et al.* Intoxicação por Fumonisina B1 em Equídeos: revisão de literatura. In: UNIFEOB. **23º Encontro Acadêmico de Produção Científica de Medicina Veterinária**, São João de Boa Vista – SP, 2022. Disponível em: <http://ibict.unifeob.edu.br:8080/jspui/handle/prefix/3941>. Acesso em: 06 abr. 2024.

PANDE, Aanchal *et al.* Advances in food decontamination technologies. **Science direct: Journal of Food Engineering**, Amsterdã - Países Baixos, v. 111, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102486>. Acesso em: 06 abr. 2025.

PÉREZ, José Vicente Gómez. **Aflatoxinas, tricotecenos de tipo ay hongos productores en maíz y avena. Nuevos antifúngicos y su impacto en salud**. 2021. 396 f. Tese (Doutorado em Biomedicina e Biotecnologia) - Universitat de València, Departamento de Microbiología y Ecología Programa de doctorado en Biomedicina y Biotecnología, Valencia – Espanha, 2021. Disponível em: <https://producciocientifica.uv.es/documentos/61e65759ab9201745649db60>. Acesso em: 02 jun. 2024.

PINHEIRO, Mariana. **Diversidade fúngica e perfil de contaminação por tricotecenos do tipo B em grãos de aveia recém-colhidos no Brasil**. 2020. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas – SP, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2020.1127088>. Acesso em: 02 jun. 2024.

PRADO, Guilherme. Contaminação de alimentos por micotoxinas no Brasil e no mundo. **Revista de Saúde Pública do SUS/MG**, Belo Horizonte – MG, v. 2, n. 2, p. 13-26, 2017. Disponível em: <http://revistageraissaude.mg.gov.br/index.php/gerais41/article/view/298>. Acesso em: 25 mar. 2024.

PRESTES, Isabele *et al.* Principais fungos e micotoxinas em grãos de milho e suas consequências. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo – Peru, v. 10, n. 4, p. 559-570, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.13>. Acesso em: 01 jun. 2024.

PRÓ-CURA. **Estudos sobre biomarcadores**. PRÓ-CURA: Associação pró-cura da ELA, São Paulo – SP, s.d. Disponível em: <https://procuradaela.org.br/wp-content/uploads/2020/10/4.Estudo-sobre-Biomarcadores-V1.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2025.

RAICHLE, Vitória Gorini. **Métodos imunológicos aplicados na detecção de micotoxinas em alimentos**. 2015. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Farmácia, Porto Alegre – RS, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/265154>. Acesso em: 03 fev. 2025.

RIBEIRO, Maria do Socorro Souza *et al.* Fungos e micotoxinas: estratégias de controle. In: WADT, L. H. de O.; MAROCCOLO, J. F.; GUEDES, M. C.; SILVA, K. E. da (ed.). **Castanha-da-Amazônia: estudos sobre a espécie e sua cadeia de valor**. Brasília - DF: Embrapa, 2023. cap. 1, p. 17-35. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1155416>. Acesso em: 25 mar. 2024.

RICCI, Fernando Galdino *et al.* Aflatoxinas, ocratoxina A e zearalenona: segurança e qualidade em produtos de origem animal. **Revista GeTeC**, Monte Carmelo – MG, v. 10, n. 30, p. 90-96, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2475>. Acesso em: 28 abr. 2024.

RODRIGUES, Hygor. **Levantamento bibliográfico sobre as micotoxinas presentes nos alimentos**. 2022. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Faculdade de Biomedicina, Goiânia – Goiás, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/4187>. Acesso em: 25 mar. 2024.

ROSIM, Roice Eliana *et al.* Aflatoxina M1 e Aflatoxina B1-Lisina Como Biomarcadores de Avaliação Da Eficiência de Adsorventes Para Aflatoxinas: Artigo de Revisão. **Ensaio e Ciências Biológicas Agrárias e Da Saúde**, Belo Horizonte – MG, v. 22, n. 3, p. 171-178, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17921/1415-6938.2018v22n3p171-178>. Acesso em: 28 mar. 2024.

SACRAMENTO, Tailane Ramos. Importância da contaminação de alimentos por aflatoxinas para a incidência de câncer hepático. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava – PR, v. 18, n. 1, p. 141-169, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/6416/2f57e6c9c0cbf8c3875d1df6a4ba4892b81e.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2024.

SAMARAJEEWA, Upali. Agronomic prevention of pre-harvest mycotoxin contamination in foods: A review. **Herald open access: Journal of Food Science and Nutrition Research**, Los Angeles – Estados Unidos 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24966/FSN-1076/100192>. Acesso em: 06 abr. 2025.

SANTOS, Ana Cláudia; GUEDES, Maria do Carmo Santos. **Aflatoxinas em alimentos: potencial carcinogênico hepático**. Centro Universitário Campo Limpo

Paulista, Campo Limpo Paulista – SP, v. 26, n. 11, 2021. Disponível em: <https://www.unifaccamp.edu.br/repository/artigo/arquivo/08122021084930.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2024.

SAVI, Dagostim Geovana. Micotoxinas: riscos à saúde humana pela ingestão diária de alimentos contaminados e sua ocorrência em amostras clínicas. **Research, Society and Development**. São Paulo - SP, v. 9, n.4, p. 1-24, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2482>. Acesso em: 25 mar. 2024.

SEGUNDO, Alan Kardek Rêgo. **Esquema de funcionamento espectrômetro de massas**. ResearchGate, Berlim – Alemanha, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-de-funcionamento-espectrometro-de-massas-Fonte-Adaptado-de-Vaz-2014_fig1_329624191. Acesso em: 18 mar. 2025.

SENAR. **Grãos: armazenamento de milho, soja, feijão e café**. Brasília – DF: SENAR, (Coleção Senar 216), 2018. 104p. ISBN: 978-85-7664-201-5. Acesso em: 09 nov. 2024

SHIMADZU. **Cromatógrafo gasoso**. Shimadzu, Kyoto - Japão, s.d. Disponível em: <https://www.shimadzu.com.br/analitica/produtos/cromatografo-gasoso/index.html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SILVA, Lucas Pinto da. **Desenvolvimento de métodos baseados em cromatografia líquida aclopada à espectrometria de massas para determinação de micotoxinas e agrotóxicos em alimentos**. 2021. 154 f. Tese (Pós Graduação em Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Química, Belo Horizonte – Minas Gerais, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/36526>. Acesso em: 07 fev. 2025.

SIQUEIRA, Gilson. **Espectrometria de massas: Princípios e aplicações**. LinkedIn, São Paulo – SP, 2018. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/espectrometria-de-massas-princ%C3%ADpios-e-aplica%C3%A7%C3%B5es-gilson-siqueira>. Acesso em: 13 fev. 2025.

SOUZA, Mayra de; RIBEIRO, Deise Helena Baggio. Perspectivas de descontaminação de ocratoxina A. *In*: VERRUCK, Silvani. **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos** – Volume 6. Editora Poisson, Belo Horizonte – MG, 2022, p. 309-340. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.37885/220207903>. Acesso em: 28 abr. 2024.

SPLABOR. **Deteção de micotoxinas em alimentos – saiba mais**. Splabor, São Paulo – SP, 2023. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/equipamentos-para-laboratorio/deteccao-de-micotoxinas-em-alimentos-saiba-mais/>. Acesso em: 03 fev. 2025.

STEIN, Caroline. **Codex Alimentarius: Entenda tudo sobre o assunto**. Paripassu, Florianópolis – SC, 2024. Disponível em: <https://www.paripassu.com.br/blog/codex-alimentarius>. Acesso em: 09 nov. 2024.

UFJF. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Método para separação de misturas cromatografia.** Laboratório de fundamentos de química aula nº 5. Juiz de Fora – MG: UFJF, 2018. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/quimica/files/2018/03/Aula-5-Laborat%C3%B3rio-de-Fundamentos-de-Qu%C3%ADmica.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2025.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **China releases standard for maximum levels of mycotoxins in foods.** Washington – Estados Unidos, 2018a. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/china-china-releases-standard-maximum-levels-mycotoxins-foods>. Acesso em: 5 abr. 2025.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Japan's aflatoxin testing protocol.** Washington – Estados Unidos, 2018b. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Japan%27s+Aflatoxin+Testing+Protocol+_Tokyo_Japan_8-21-2018.pdf. Acesso em: 5 abr. 2025.

VIEIRA, Guilherme. **Espectrometria de massa – entenda como funciona a análise.** C2Lab, São Paulo – SP, 2023. Disponível em: <https://c2lab.com.br/espectrometria-de-massa-entenda-como-funciona-a-analise/>. Acesso em: 13 fev. 2025.

WANG, Yan *et al.* Nonthermal technologies for mycotoxin decontamination. **MDPI: Foods**, v. 13, n. 14, p. 2244, Basel - Suíça, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/14/2244>. Acesso em: 06 abr. 2025.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Mycotoxins.** WHO, Genebra – Suíça, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>. Acesso em: 5 mai. 2025.

WU, Yongning. **General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS 193-1995).** Codex Alimentarius, Roma - Itália, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4910.2560>. Acesso em: 04 abr. 2025.

GLOSSÁRIO

µm – Micrômetro. É comumente usado para medir objetos muito pequenos, como células, bactérias ou partículas em materiais.

Agente xenobiótico – É qualquer substância estranha ao organismo, como fármacos, poluentes ou aditivos químicos, que pode ser metabolizada ou causar efeitos tóxicos.

Alterações hematológicas – São mudanças nos componentes do sangue, como glóbulos vermelhos, brancos ou plaquetas, podendo indicar doenças ou deficiências nutricionais.

Analizador de massa na EM – Responsável por separar os íons gerados com base na sua relação massa/carga (m/z). Ele direciona os íons para o detector, permitindo identificar e quantificar as substâncias presentes na amostra.

Anorexia – É um transtorno alimentar caracterizado pela restrição extrema de alimentos, medo intenso de ganhar peso e distorção da imagem corporal.

Atrofia testicular – Diminuição do tamanho e da função dos testículos.

Bomba na CLAE – É responsável por fornecer a pressão necessária para impulsionar a fase móvel através do sistema.

Carcinogênicos – Substâncias ou agentes capazes de causar ou aumentar o risco de desenvolvimento de câncer.

Carcinoma hepatocelular primário – Câncer nas células do fígado.

Cirrose – Doença crônica no fígado, em que ocorre a substituição do tecido saudável do fígado por cicatrizes.

Coluna cromatográfica na CLAE – É o coração do sistema, onde a separação dos componentes ocorre. Escolher a coluna certa é crucial para o sucesso da análise.

Congênitos – Condições que estão presentes desde o nascimento.

Corrente de gás na CG – Pode ser hélio ou nitrogênio.

Detector na CLAE – Registra sinais que são convertidos em dados analíticos.

Distensão abdominal – É o inchaço ou aumento do volume do abdômen.

Edema pulmonar – Acúmulo de líquido nos alvéolos pulmonares.

Edema vulvar – Inchaço da vulva, que é a parte externa do órgão genital feminino.

Eluente – É o solvente ou mistura de solventes.

Embriotóxicos – Prejudicam o desenvolvimento do embrião, levando a danos ou morte.

Êmese – Vômito.

Extrusão – O alimento ou ração é submetido a alta temperatura e pressão, o que pode inativar ou diminuir a quantidade de micotoxinas presentes, tornando o produto mais seguro para consumo.

Fitoterápicos – Medicamentos obtidos a partir de plantas medicinais, cujos princípios ativos são padronizados e utilizados com finalidade terapêutica.

Fitotóxicas – Substâncias que causam efeitos tóxicos em plantas, prejudicando seu crescimento, desenvolvimento ou metabolismo.

Fotossensibilidade – Sensibilidade anormal à luz.

Hepatotóxicos – Causam danos ao fígado, interferindo em sua função de desintoxicação, metabolização e produção de bile.

Hidrofílicos – Substâncias que têm afinidade com água.

Hidrofóbicas – Substâncias que não têm afinidade com água.

Hidrotórax – Acúmulo de líquido na cavidade pleural (entre as camadas que revestem os pulmões e a parede torácica).

Hiperestrogenismo – Excesso de estrogênio no organismo.

Hipertermia – É o aumento excessivo da temperatura corporal, causada pela incapacidade de dissipar calor, podendo levar a danos graves.

Icterícia – Amarelamento da pele e olhos, causado pelo acúmulo de bilirrubina no sangue.

Imunossupressores – Diminuem a resposta do sistema imunológico, tornando o organismo mais suscetível a doenças e infecções.

Imunotóxico – Tóxico ao sistema imunológico.

Injetor na CLAE – Essencial para a introdução precisa da amostra no sistema, o injetor automático é ainda melhor, pois minimiza erros e otimiza a reprodutibilidade das análises.

Íons – As moléculas da amostra perdem ou ganham elétrons, tornando-se partículas carregadas eletricamente.

Lesão hepática crônica – Danos persistentes ao fígado, que podem decorrer de várias causas.

Lesões necróticas no intestino – São áreas de morte do tecido intestinal.

Leucoencefalomalacia – Formação de cavidades na substância branca do cérebro e seu amolecimento, levando à morte.

Lipofílicas – Substâncias que se dissolvem facilmente em gorduras, mas não em água.

Líquido cefalorraquidiano – É um fluido claro que circula pelo cérebro e pela medula espinhal, protegendo, nutrindo e removendo resíduos do sistema nervoso central.

Necrose hepática – Morte das células do fígado.

Nefrotóxicos – Causam danos aos rins, interferindo em sua função de filtração e excreção de resíduos.

Neurotoxigênicos – Causam danos ao sistema nervoso.

Pasteurização – Processo de aquecimento de alimentos e bebidas que visa eliminar ou reduzir microrganismos.

Polares – Interagem bem com a água.

ppb – Partes por bilhão. É uma unidade usada para expressar concentrações muito baixas de uma substância, especialmente em contextos como análise ambiental, alimentos ou toxicologia. No contexto LMT, indica a quantidade máxima permitida de uma substância em um bilhão de partes do produto, geralmente em termos de massa (kg).

Prolapso vaginal – Condição em que os músculos que sustentam a vagina se enfraquecem.

Sistema de controle/Aquisição de dados na CLAE – Softwares especializados controlam o fluxo da fase móvel, a temperatura e outros parâmetros cruciais para o bom funcionamento do equipamento.

Técnicas hifenadas – Referem-se à combinação de diferentes métodos analíticos para melhorar a sensibilidade, precisão ou especificidade da análise.

Teratogênicos – Causam defeitos ou malformações no feto.

Termoestáveis – Referem-se a materiais ou substâncias que, após serem processados, mantêm suas propriedades mesmo quando submetidos a altas temperaturas.

Toxigênicos – Organismos ou substâncias capazes de produzir toxinas que causam danos a seres humanos, animais ou plantas.

Tubérculos – Caule arredondado que algumas plantas produzem subterraneamente, como batatas.

Vertigem – Tontura intensa.