

DETECÇÃO E CONTROLE DE MICOTOXINAS EM SEMENTES E GRÃOS: UMA REVISÃO

Data de submissão: 01/04/2024

Data de aceite: 02/05/2024

Rosa Maria dos Santos Pessoa

Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade Federal da Paraíba., Areia – PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2814769494444149>
<https://orcid.org/0000-0002-8898-9161>

Angela Maria dos Santos Pessoa

Programa de Pós Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido Mossoró – Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1923915813505880>
<https://orcid.org/0000-0002-7393-984X>

Dinah Correia Cunha Castro Costa

Graduação em Zootecnia. Universidade Federal da Paraíba, Areia – PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2280826159628685>
<https://orcid.org/0000-0001-6962-6077>

Fleming Sena Campos

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha – Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1128175908250092>
<https://orcid.org/0000-0001-9027-3210>

Juliana dos Santos Lima

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Universidade Federal do Vale do São Francisco Petrolina – Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2585446634607718>
<https://orcid.org/0009-0004-5344-2213>

Glacyane Costa Gois

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha – Maranhão, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4306037261876678>
<https://orcid.org/0000-0002-4624-1825>

RESUMO: Com o objetivo de investigar a detecção e controle de micotoxinas em sementes e grãos, essa revisão foi desenvolvida para mostrar os conceitos desse agente em grãos e sementes, enquanto configuração concreta da sua observação no meio profissional, social e técnico. Compreender como ocorre é essencial a pesquisa, que busca elucidar perguntas que se fazem nesse aspecto. Justifica-se a criação de textos que possam mostrar como ocorre, e sua importância diante dos estudos de formação profissional, além de possibilitar maiores discussões

sobre esse assunto. Assim, através de uma breve revisão da literatura, estuda-se sobre tal temática, inculindo-a aos pensamentos do contexto contemporâneo que o atualizam em respostas a nossas maiores curiosidades sobre tal ocorrência.

PALAVRAS-CHAVE: Aflatoxinas, Agricultura, Combate de pragas, Manejo, Zearalenonas.

MYCOTOXIN DETECTION AND CONTROL IN SEEDS AND GRAINS: A REVIEW

ABSTRACT: With the aim of investigating the detection and control of mycotoxins in seeds and grains, this review was developed to show the concepts of this agent in grains and seeds, as a concrete configuration of its observation in the professional, social and technical environment. Understanding how it occurs is essential for research, which seeks to elucidate questions that are asked in this regard. It justifies the creation of texts that can show how it occurs, and its importance in the face of professional training studies, in addition to enabling further discussions on this subject. Thus, through a brief review of the literature, this theme is studied, instilling it in the thoughts of the contemporary context that update it in response to our greatest curiosities about such an occurrence.

KEYWORDS: Aflatoxins, Agriculture, Management, Pest control, Zearalenones.

INTRODUÇÃO

As micotoxinas são metabólitos secundários que são produzidas por fungos filamentosos, podem ser tóxicos se forem ingeridas tanto pelos animais como pelo homem, mesmo que seja consumida em pequenas quantidades, apresentam estruturas químicas distintas e baixo peso molecular (Katsurayama, & Taniwaki, 2017).

Os compostos tóxicos produzidos por certas espécies de fungos são encontrados em grãos contaminados. Existem cinco grupos principais de micotoxinas que podem ocorrer nos grãos: aflatoxina, fumonisina, desoxinivalenol (DON), ocratoxina (OT) e zearalenona (ZEN). Sua ocorrência pode começar no campo, colheita, manuseio, armazenamento e processamento. DON, ZEN e fumonisinas podem começar a causar os grãos no campo / ou pré-colheita, enquanto a aflatoxina e OT ocorrem principalmente durante o armazenamento devido ao manuseio pós-colheita inadequado (Silva, Oliveira & Ramanho, 2022).

Existem alguns grãos suscetíveis a micotoxinas, como milho, amendoim, sorgo, painço, trigo e arroz (El-Sayed, Jebur, Kang, & El-Demerdash, 2022). Os principais fatores pós-colheita para a causa da contaminação por micotoxinas de grãos são lesões mecânicas, infestação de insetos, época de colheita, método de secagem, tipos de estrutura e condições de armazenamento, manuseio e processamento. Temperatura, umidade e umidade são os principais fatores para o crescimento e desenvolvimento de micotoxinas (Pisuttu et al., 2023).

Portanto, cabe elucidar perguntas de como se realiza a detecção e combate a tais agentes, percebendo suas características sob o armazenamento e rotatividade das colheitas. O trabalho é importante porque mostra aspectos gerais na lida diária do campo.

Destacando o contexto como fonte de atualização dos conhecimentos sobre este tema em dados qualitativos, enquanto exigências de uma via inclusiva de direitos, é devida a oportunidade de esclarecimentos por parte de vários autores adiante invocados na compreensão deste fenômeno.

Assim, essa revisão tem o objetivo de investigar a detecção e controle de micotoxinas em sementes e grãos.

2. METODOLOGIA

A presente revisão narrativa e exploratória qualitativa, permitiu a identificação de evidências e informações científicas sobre a temática abordada, destacando a importância da interpretação das opiniões relatadas por pesquisadores, propagando evidências e informações científicas e dessa forma contribuindo com os avanços científicos, sociais e tecnológicos (Pessoa et al., 2022).

A busca das informações foi realizada por meio eletrônico nos sites: portal periódicos CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br>), Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/?hl=pt>), Scientific Electronic Library Online (SciELO; <https://scielo.org>), Researchgate (<https://www.researchgate.net/>), assim como livros eletrônicos, Acesso Livre à Informação Científica da Embrapa (Alice; <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/Alice>), com o objetivo de identificar os principais estudos do tema da revisão.

Como critério de inclusão textual, foram incorporadas bibliografias em português e em inglês que abordavam o seguinte tema: Micotoxinas em sementes e grãos, Detecção de micotoxinas em grãos e sementes, principais micotoxinas em grãos e sementes publicadas no período de 2010 a 2022. As palavras-chave Aflatoxinas, Agricultura, Combate de pragas, Manejo e Zearalenonas” foram utilizadas durante a pesquisa dos artigos.

REFERENCIAL TEÓRICO

A partir do levantamento bibliográfico, a seguir desenvolveremos a temática proposta com a presente revisão:

Detecção

Para detecção das micotoxinas, a cromatografia de afinidade é um processo de purificação cuja finalidade é a de isolar e capturar uma molécula direcionada em uma amostra de grãos, o que permite aos cientistas identificar a presença de micotoxinas (Santos et al., 2022). Na detecção, existem estratégias de mitigação pós-colheita que são vistas em um conjunto de métodos importantes e de baixo custo para controlar as causas, e que podem ser usadas com recursos de imagens hiperespectrais (Yao, Zhu, Kincaid, Hruska, & Rajasekaran, 2023).

Em países em desenvolvimento, como os latino-americanos, comumente vulneráveis às causas de micotoxinas precisam de investimentos maiores na cultura, principalmente ao uso com a intervenção de agentes biológicos ou até mesmo químicos, dependendo do caso (Nji, Babalola, Ekwomadu, Nleya, & Mwanza, 2022). Todavia, as principais intervenções pós-colheita de grãos usadas como estratégias de mitigação de micotoxinas incluem secagem rápida e adequada, controle de insetos pós-colheita, transporte e embalagem adequados, boas condições de armazenamento, uso de agentes naturais e/ou químicos e irradiação adequada (Pisuttu et al., 2023).

Contudo, o processamento de grãos, critérios como classificação, limpeza, moagem, fermentação, cozimento, torrefação, descamação devem ser sempre melhoradas (Karlovsy et al., 2016). Outro cuidado a ser observado é na Nixtamalização e no cozimento por extrusão, que também reduzem à concentração de micotoxinas (Kamau, Nkhata, & Ayua, 2020). Em geral, a abordagem do sistema para as boas práticas de fabricação e a implementação baseada em Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points) são importantes para mitigar a micotoxina nos grãos (Matumba et al., 2021).

Portanto, verifica-se a necessidade de prezar por técnicas cada vez mais eficazes neste tipo de controle. O descuido por comprometer a saúde e qualidade dos grãos, principalmente quando as condições de temperatura e ambiente em um dado local colaboram para a proliferação de micotoxinas.

Todavia, para se ter boas estratégias se faz necessário saber quais os tipos de fungos podem atingir o grão, os quais serão mais bem descritos no próximo tópico.

Tipos de fungos

Aflatoxinas: Grupo de derivados bis-furano-isocumarina produzidos por fungos do grupo *Aspergillus*. Estes possuem vários derivados, sendo o mais importante a aflatoxina B. B: produzida por *Aspergillus flavus* e isolada frequentemente do milho e a Aflatoxina G1 e G2 produzida por *Aspergillus parasiticus* comumente isolada do amendoim. Destas aflatoxinas, B e G1 são frequentemente encontradas em quantidades suficientes para serem tóxicas. Do ponto de vista da saúde pública, o derivado M foi encontrado no leite bovino após vacas ingerirem rações contaminadas com aflatoxina B. O nível de aflatoxina de 20 ppb é permitido em grãos para rações nos EUA, mas para alimentos destinados ao consumo humano, a tolerância é zero. Para exportação de milho, um nível aceitável de aflatoxina é de 50 ppb durante as cargas (Mello & Luccheta, 2020).

Zearalenonas: Quando ingeridos por animais podem causar lesões graves (Zearalenona e zearalenóis consumidos por suínos); têm pouco ou nenhum efeito (Zearalenona consumida por galinhas poedeiras, frangos e perus); promover o crescimento (Zearalanol quando lentamente absorvido pelo implante de orelha em bovinos e ovinos)

ou servir como uma droga benéfica (Zearalanol tomado para aliviar o sofrimento pós-menopausa em mulheres) (Minervini & Dell'Aquila, 2008, Liu & Applegate, 2020; Wu et al., 2021; Han et al., 2022). Os efeitos mais graves da zearalenona ocorrem na ingestão de grãos de cereais infectados com *Fusarium* por suínos, como milho, trigo e cevada. Esses cereais, ingeridos sozinhos ou misturados em uma formulação de ração, causarão hiperestrogenismo e infertilidade (Mielniczuk & Skwaryło-Bednarz, 2020; Gurikar, Shivaprasad, Sabillón, Gowda, & Siliveru, 2023).

Tricotecenos: Os tricotecenos são responsáveis pela recusa de ração, vômitos e baixo crescimento em suínos e estão associados à síndrome hemorrágica em aves e a uma variedade de sintomas e lesões em outros animais. Alguns dos tricotecenos são extremamente tóxicos quando consumidos ou mesmo quando em contato com a pele. Esta toxina foi produzida pelo fungo *Trichothecium roseum* e várias espécies de *Fusarium* (Foroud et al., 2019; Ng'ang'a, & Niyonshuti, 2022).

Ocratoxina: A ocratoxina foi isolado e caracterizada pela primeira vez 1965 durante um ensaio piloto em laboratório, projetado para detectar produtos fúngicos tóxicos em alimentos na África do Sul (Malir, Ostry, Pfohl-Leszkowicz, Malir, & Toman, 2016). Foi descoberto que a ocratoxina A, B e C eram extremamente tóxicas para patinhos (Qing et al., 2022). Esta toxina é produzida predominantemente por *Aspergillus ochraceus*, *Penicillium viridicatum* e outras espécies de *Penicillium* (Peng, Zhao, & Liang, 2022).

Prevenção de micotoxina

Os principais fatores que determinam se o grau de prevenção do grão em armazenamento seria invadido por fungos são: teor de umidade do grão e do ambiente de armazenamento, temperatura, quantidade de grãos quebrados e materiais estranhos presentes, grau em que o grão já foi invadido por fungos antes do armazenamento, presença de insetos e ácaros e tempo de armazenamento (Kolling, Nozaki, Corrêia, Gonçalves, & Rampim, 2020). Todos esses fatores interagem entre si, no entanto, os principais determinantes são o teor de umidade, a umidade relativa, a temperatura e o tempo.

Medidas de precaução devem ser tomadas nos grãos recém-colhidos para evitar perdas de qualidade e quantidade. Um método recomendado e comprovado é reduzir o teor de umidade o mais cedo possível. Isso pode ser conseguido por meio da secagem (secagem ao sol, secagem ao ar, etc.) e subsequentemente controlando a umidade relativa e a temperatura durante o armazenamento (Garcia-Llobodanin, & Billiris, 2023). Além disso, a aplicação de produtos químicos antes do armazenamento e durante o armazenamento será administrada (Chen, Hou, & Liu, 2022).

Secagem

A secagem em campo da maioria dos grãos tem sido uma prática aceita desde o início da agricultura comercial. No entanto, o sol e o vento são os principais agentes de secagem e podem não estar disponíveis quando mais necessários (Groote, Githinji, Munya, & Ricker-Gilbert, 2021). À medida que cresce a demanda por produtos agrícolas de qualidade superior, a secagem mecânica se tornou popular. A secagem das safras no campo permitiu que os agricultores seguissem um cronograma mais previsível na colheita e, em alguns casos, produzir uma segunda safra na mesma terra devido à remoção antecipada da primeira safra (Liliane, & Charles, 2020; Chojnacka et al., 2021).

Após a colheita, o teor de umidade do produto deve ser seco a 12-14 % na base úmida para armazenamento seguro com deterioração mínima (Rani, Chelladurai, Jayas, White, & Kavitha-Abirami, 2013). Conforme Dadlani, Gupta, Sinha & Kavali (2023) a secagem é a maneira de reduzir o teor de umidade dos grãos e sementes, com vistas a reduzir possíveis perdas da colheita devido ao ataque de agentes patológicos. A secagem enquanto as safras ainda estão no campo acelera a maturação das safras. À medida que as safras amadurecem, o teor de umidade varia de 26 a 35% na base úmida (Tsedaley, Adugna, & Lemessa, 2023). Essa faixa de umidade deve ser reduzida imediatamente antes do armazenamento, por lavagem direta, espalhando os grãos em superfícies de tapete ou cimento.

Em dias de sol, o processo de secagem leva de 2 a 3 dias dependendo da densidade de espalhamento e das condições atmosféricas prevalentes. Este é o processo mais barato. No entanto, as contaminações do produto não puderam ser evitadas. Além disso, o processo é trabalhoso e demorado para uso em grande escala (Chaves Neto, & Boscaine, 2019).

Secagem com energia solar

A energia solar é aproveitada por meio de um coletor e convertida em uma forma de energia mais conveniente e pode ser usada diretamente ou armazenada para entrega posterior no ponto de uso (Inghanas, & Sundstrom, 2016). No secador solar, a radiação solar passa por uma folha transparente onde os absorventes de calor (pedras, folhas) são colocados e, por sua vez, aquecem o ar (Chaatouf, Salhi, Raillani, Amraqui, & Mezrhab, 2021). O ar aquecido é conduzido para as plataformas de secagem, onde ocorre a secagem dos grãos. Sistemas simples de coleta solar de vidro simples têm sido usados para aumentar a temperatura do ar de admissão de secagem, acelerando assim o processo de secagem. Os sistemas de secagem solar são classificados como passivos ou ativos (Yao et al., 2022).

Um sistema passivo depende de convecção natural, condução ou radiação para transferir energia térmica do ponto de coleta ao componente de armazenamento e ao ponto de uso. Muitas aplicações agrícolas, como estufas, secagem de plantações usam sistemas solares passivos. Enquanto um sistema ativo tem um meio mecânico, como bomba ou ventilador, para conduzir um fluido de transferência de calor de uma parte do sistema para outra.

Os sistemas solares ativos são usados há décadas e são comprovadamente viáveis em muitas partes do mundo. O uso eficaz de energia solar para grãos e secagem de safras depende de:

Localização geográfica: Isso afetará a disponibilidade de radiação solar na época da colheita e também a umidade relativa do local.

Tipo de colheita: Diferentes safras de grãos são colhidas em diferentes estações e possuem diferentes propriedades físicas que afetarão a taxa de secagem.

Tamanho da operação: O tamanho da operação de secagem deve acomodar o tamanho da colheita para que a colheita possa ocorrer de maneira ordenada.

Política governamental: Os sistemas de secagem solar não são prontamente aceitos por usuários potenciais devido ao custo de investimento quando comparados com o método convencional. Um programa de compensação econômica financiado pelo governo pode ser necessário para encorajar um maior uso de energia solar.

Secadores mecânicos

Os secadores mecânicos são equipamentos onde o meio de secagem (ar) é movido artificialmente para o produto por meio de força (geralmente ventilador acionado por motor). O ar é normalmente aquecido para reduzir sua umidade relativa e aumentar sua capacidade de absorção de umidade. Isso resulta em maior capacidade de secagem e taxas de secagem mais rápidas. Os secadores mecânicos são divididos em três tipos: secador de lote estático, secador de lote recirculante e secador de fluxo contínuo (Menon, Stojceska, & Tassou, 2020; Gachen, Hirpesa, & Srinivasan, 2020; & Muthukumar, 2021).

Os secadores estáticos são usados onde os grãos são colocados em sacos ou em um recipiente através do qual o ar de secagem é soprado. Secador de lote recirculante, como o nome indica, os grãos são recirculados através da câmara de secagem. Este método misturaria continuamente os grãos que são necessários para ter uma secagem uniforme e nenhum grão está sendo continuamente submetido à alta temperatura do ar de secagem, minimizando assim os danos (Gachen, Hirpesa, & Srinivasan, 2020).

Controle de micotoxinas em sementes

Tratamento Químico

A secagem da semente tem se mostrado eficaz na prevenção da contaminação das safras por micotoxinas. No entanto, o equipamento de secagem pode não estar sempre disponível na propriedade devido ao seu custo e à falta de know-how técnico dos agricultores para operar tais instalações. Além disso, as condições climáticas nos trópicos são imprevisíveis e principalmente as estações de colheita coincidem com o início da estação chuvosa. As safras de alta umidade, especialmente o milho, serão contaminadas com aflatoxina em 48 horas. Portanto, o tratamento químico é fundamental (Oliver, Fausto, Saraiva, Carvalho, & Pinto, 2020).

Foi relatado que 10% dos alimentos colhidos são destruídos no armazenamento por pragas de insetos, portanto, proteger nossas colheitas de pragas de insetos pode aumentar significativamente a disponibilidade de recursos alimentares. Danos causados por insetos são frequentemente seguidos por fungos porque os insetos produzem calor e água que movem o microclima para um ambiente de alta deterioração.

Assim, prevenir a infestação de insetos por aplicação de produtos químicos pode fornecer proteção adequada aos grãos, além de uma boa estrutura de armazenamento e higiene de armazenamento. Os produtos químicos são aplicados como medidas preventivas e de controle. Preventivo é quando os produtos químicos são aplicados antes da infestação de insetos e controle quando a infestação ocorre depois da infestação (Sousa et al., 2023).

O saneamento completo é mais eficaz passo para prevenir a infestação de insetos. As áreas de armazenamento devem ser limpas e bem vedadas, o suficiente para impedir a entrada de insetos e manter os gases fumigantes se tal tratamento for necessário. Os inseticidas devem ser pulverizados até o ponto de “escorrimento”. Todas as partes da estrutura de armazenamento devem ser pulverizadas para matar e/ou evitar que os insetos estabeleçam uma infestação (Rocha, Taveira, Prado, & Ataíde, 2020).

A persistência de resíduos de inseticidas aplicados na superfície das estruturas de armazenamento é um fator importante no combate aos insetos de armazenamento. Os produtos químicos recomendados como protetores de grãos que previnem fungos e a atividade bacteriana são o malathion, pirifos metilo, fenitrotiono, metilfoxina e pirimifos metilo (Prestes, Rocha, Nuñez, & Silva, 2019). Apesar do protetor de grãos aplicado, uma possibilidade de infestação de insetos pode ocorrer durante o armazenamento. Quando isso acontece, os produtos químicos podem ser reaplicados, dependendo se a população de insetos e a infestação alcançaram ou ultrapassaram o nível de limite econômico (Reynaldo & Machado, 2017).

Uma medida adequada para o controle de pestes é a aplicação de fumigantes. No entanto, a fumigação é recomendada para um espaço fechado com ou sem recursos para recircular o gás para ajudar a atingir concentrações homogêneas de gás ou remover o gás após a fumigação. Os fumigantes comuns usados são brometo de metila, fosfina, tetracloreto de carbono, cloropicrina, dissulfeto de carbono (Stejskal, Vendl, Aulicky, & Athanassiou, 2021). A efetividade da fumigação é influenciada por fatores como: temperatura, umidade, formulação, dosagem, procedimento de aplicação, estrutura de armazenamento e aeração (Pranamornkith et al., 2014; (Stejskal, Vendl, Aulicky, & Athanassiou, 2021). Os procedimentos de segurança devem ser observados e as recomendações de segurança dos fabricantes para a aplicação dos fumigantes devem ser estritamente seguidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Testes de laboratório indicaram que a contaminação por aflatoxina pode ser evitada nas espigas de milho armazenadas durante o armazenamento subsequente. No entanto, testes extensivos em fazendas devem ser conduzidos antes de introduzir esta máquina para uso dos produtores rurais. Além disso, outras modificações devem ser feitas após os testes da fazenda para incorporar os feedbacks dos fazendeiros em relação ao design e operação do aplicador. Portanto, a detecção e controle de micotoxinas pode ser viável tanto a pequenos quanto grandes produtores, aplicando as técnicas corretas de prevenção expostas nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Chaatouf, D., Salhi, M., Raillani, B., Amraqui, S., & Mezrhab, A. (2021). Assessment of a heat storage system within an indirect solar dryer to improve the efficiency and the dynamic behavior. *Journal of Energy Storage*, 41; e102874. DOI: 10.1016/j.est.2021.102874
- Chaves Neto, J. R., & Boscaioli, R. (2019). Grãos ardidos em milho: uma revisão. *Revista Científica Rural*, 21(2); 105-125. DOI: 10.30945/rcr-v21i2.2668
- Chen, X., Hou, J., & Liu, C. A. (2022). Scientometric review of grain storage technology in the past 15 years (2007–2022) based on knowledge graph and visualization. *Foods*, 11; e3836. DOI: 10.3390/foods11233836
- Chojnacka, K., Mikula, K., Izydorczyk, G., Skrzypczak, D., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., Ludwig, W., & Kułazyński, M. (2021). Improvements in drying technologies - Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*, 320; e128706. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128706
- Dadlani, M., Gupta, A., Sinha, S. N., & Kavali, R. (2023). Seed Storage and Packaging. In: Dadlani, M., Yadava, D.K. (eds) *Seed Science and Technology*. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-5888-5_11
- El-Sayed, R. A., Jebur, A. B., Kang, W., & El-Demerdash, F. M. (2022). An overview on the major mycotoxins in food products: characteristics, toxicity, and analysis. *Journal of Future Foods*, 2(2); 91-102. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.03.002
- Foroud, N. A., Baines, D., Gagkaeva, T. Y., Thakor, N., Badea, A., Steiner, B., Bürstmayr, M., & Bürstmayr, H. (2019). Trichothecenes in cereal grains – an update. *Toxins*, 11; e634. DOI: 10.3390/toxins11110634
- Gachen, A., Hirpesa, Z., & Woyessa, L. N. (2020). Design and construction of indirect solar coffee dryer. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(4); 2943-2956. DOI: 10.35940/ijitee.D2004.02942
- García-Llobodanin, L., & Alejandra Billiris, A. (2023). Effect of the drying air conditions on the drying rate and milling quality of a long-grain rice variety. *Food Science and Technology*, 43; e65722. DOI: 10.1590/fst.65722

Groote, H., Githinji, P. G., Munya, B. G., & Ricker-Gilbert, J. E. (2021). Economics of open-air sun drying in the maize value chain of Kenya. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5; e100185. DOI: 10.1016/j.jafr.2021.100185.

Gurikar, C., Shivaprasad, D. P., Sabillón, L., Gowda, N. A. N., & Siliveru, K. (2023). Impact of mycotoxins and their metabolites associated with food grains. *Grain & Oil Science and Technology*, 6; 1-9. DOI: 10.1016/j.gaost.2022.10.001

Inghanas, O., & Sundstrom, V. (2016). Solar energy for electricity and fuels. *Ambio*, 45(1); 15–23. DOI 10.1007/s13280-015-0729-6

Kamau, E. H., Nkhata, S. G., & Ayua, E. O. (2020). Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. *Food Science & Nutrition*, 8(1); 1753–1765. DOI: 10.1002/fsn3.1473

Karlovsky, P., Suman, M., Berthiller, F., Meester, J., Eisenbrand, G., Perrin, I., Oswald, I. P., Speijers, G., Chiodini, A., Recker, T., & Dussort, P. (2016). Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*, 32(1); 179–205. DOI 10.1007/s12550-016-0257-7

Katsurayama, A. M., & Taniwaki, M. H. (2017). Fungos e aflatoxinas no arroz: ocorrência e significado na saúde do consumidor. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20; e2017006. DOI: 10.1590/1981-6723.0617

Kolling, C. E., Nozaki, M. H., Corrêia, A. F., Gonçalves, L. A., & Rampim, L. (2020). Contaminação por fungos e micotoxinas em grãos de trigo do Paraná e importado do Paraguai. *Research, Society and Development*, 9; e982998111. DOI: 10.33448/rsd-v9i9. 8111

Liliane, T. N., & Charles, M. S. (2020). Factors Affecting Yield of Crops. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.90672

Liu, J., & Applegate, T. (2020). Zearalenone (ZEN) in livestock and poultry: dose, toxicokinetics, toxicity and estrogenicity. *Toxins*, 12; e377. DOI:10.3390/toxins12060377

Malir, F., Ostry, V., Pfohl-Leskowicz, A., Malir, J., & Toman, J. (2016). Ochratoxin A: 50 years of research. *Toxins*, 8; e191. DOI: 10.3390/toxins8070191

Matumba, L., Namaumbo, S., Ngoma, T., Meleke, N., Boevre, M., Logrieco, A. F., & Saeger, S. (2021). Five keys to prevention and control of mycotoxins in grains: A proposal. *Global Food Security*, 30, e100562. DOI: 10.1016/j.gfs.2021.100562

Mello, J. C., & Lucchetta, L. (2020). Avaliação da capacidade de redução de desoxinivalenol pelo processo de limpeza de trigo em grãos em mesa densimétrica. *Brazilian Journal of Development*, 6(1); 4781-4785. DOI: 10.34117/bjdv6n1-343

Menon, A., Stojceska, V., & Tassou, S. A. (2020). A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 100; 67-76. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.03.014

Mielniczuk, E., & Skwaryło-Bednarz, B. (2020). Fusarium head blight, mycotoxins and strategies for their reduction. *Agronomy*, 10; e509. DOI:10.3390/agronomy10040509

Minervini, F., & Dell'Aquila, M. E. (2008). Zearalenone and reproductive function in farm animals. *International Journal of Molecular Sciences*, 9; 2570-2584. DOI: 10.3390/ijms9122570

Ng'ang'a, Z. W., & Niyonshuti, E. (2022). Animal feeds mycotoxins and risk management. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.102010

Nji, Q. N., Babalola, O. O., Ekwomadu, T. I., Nleya, N., & Mwanza, M. (2022). six main contributing factors to high levels of mycotoxin contamination in african foods. *Toxins*, 14; e318. DOI: 10.3390/toxins14050318

Oliver, M. E. C., Fausto, M. C., Saraiva, L. H. G., Carvalho, L. M., & Pinto, R. (2020). Micotoxinas e micotoxicoses na suinocultura: revisão de literatura. *Revista Eletrônica Nutritime*, 17(2); 8709-8716. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/03/Artigo-514.pdf>.

Peng, M., Zhao, Z., & Liang, Z. (2022). Biodegradation of ochratoxin A and ochratoxin B by *Brevundimonas naejangsanensis* isolated from soil. *Food Control*, 133; e108611. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108611

Pisuttu, C., Risoli, S., Moncini, L., Nali, C., Pellegrini, E., & Sarrocco, S. (2023). Sustainable strategies to counteract mycotoxins contamination and cowpea weevil in chickpea seeds during post-harvest. *Toxins*, 15; e61. DOI: 10.3390/toxins15010061

Pranamornkith, T., Hall, M. K. D., Adlam, A. R., Somerfield, K. G., Page, B. B. C., Hall, A. J., & Brash, D.W. (2014). Effect of fumigant dose timber moisture content endgrain sealing and chamber load factor on sorption by sawn timber fumigated with ethanedinitrile. *New Zealand Plant Protection*, 67; 66–74. DOI: 10.30843/nzpp.2014.67.5753

Prestes, I. D., Rocha, L. O., Nuñez, K. V. M., & Silva, N. C. C. (2019). Fungi and mycotoxins in corn grains and their consequences. *Scientia Agropecuaria*, 10(4); 559-570. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2019.04.13

Qing, H., Huang, S., Zhan, K., Zhao, L., Zhang, J., Ji, C., & Ma, Q. (2022). Combined toxicity evaluation of Ochratoxin A and Aflatoxin B1 on kidney and liver injury, immune inflammation, and gut microbiota alteration through pair-feeding pullet model. *Frontiers in Immunology*, 13; e920147. DOI: 10.3389/fimmu.2022.920147

Rani, P. R., Chelladurai, V., Jayas, D. S., White, N. D. G., & Kavitha-Abirami, C. V. (2013). Storage studies on pinto beans under different moisture contents and temperature regimes. *Journal of Stored Products Research*, 52; 78-85. DOI: 10.1016/j.jspr.2012.11.003

Reynaldo, E. F., & Machado, T. M. (2017). Desempenho de pontas de pulverização no controle da giberela e micotoxinas na cultura da cevada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(3); 209-213. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p209-213

Rocha, M. P., Taveira, J. H. S., Prado, S. M. A., & Ataíde, M. V. (2020). Sistema de armazenamento e incidência dos principais fungos produtores de micotoxinas em grãos. *Brazilian Journal of Development*, 6(7); 50176–50193. DOI: 10.34117/bjdv6n7-608

Pessoa, R. M. S., Pessoa, A. M. S., Costa, D. C. C. C., Azevêdo, P. C. S., Gois, G. C., Campos, F. S., Vicente, S. L. A., Ferreira, J. M. S., Araújo, C. A., & Lima, D. O. (2022). Palma forrageira: Adubação orgânica e mineral. *Research, Society and Development*, 11(13); e12111334257. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.34257

- Santos, A. R., Carreiró, F., Freitas, A., Barros, S., Brites, C., Ramos, F., & Silva, A. S. (2022). Mycotoxins contamination in rice: analytical methods, occurrence and detoxification strategies. *Toxins*, 14; e647. DOI: 10.3390/toxins14090647
- Silva, J. V., Oliveira, C. A. F., & Ramalho, L. N. Z. (2022). An overview of mycotoxins, their pathogenic effects, foods where they are found and their diagnostic biomarkers. *Food Science and Technology*, 42; e48520. DOI: 10.1590/fst.48520
- Srinivasan, G., & Muthukumar, P. (2021). A review on solar greenhouse dryer: Design, thermal modelling, energy, economic and environmental aspects. *Solar Energy*. 229; 3-21. DOI: 10.1016/j.solener.2021.04.058
- Sousa, I. G., Oliveira, J., Mexia, A., Barros, G., Almeida, C., Brazinha, C., Vega, A., & Brites, C. (2023). Advances in environmentally friendly techniques and circular economy approaches for insect infestation management in stored rice grains. *Foods*, 12; e511. DOI: 10.3390/foods12030511
- Stejskal, V., Vendl, T., Aulicky, R., & Athanassiou, C. (2021). Synthetic and natural insecticides: gas, liquid, gel and solid formulations for stored-product and food-industry pest control. *Insects*, 12; e590. DOI: 10.3390/insects12070590
- Tsedaley, B., Adugna, G., & Lemessa, F. (2023). Evaluation of sorghum genotypes and influence of weather variables on anthracnose (*Colletotrichum sublineolum*) disease development under field conditions at Jimma, southwestern Ethiopia. *Heliyon*, 9; e15297. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15297
- Wu, K., Ren, C., Gong, Y., Gao, X., Rajput, S. A., Qi, D., & Wang, S. (201). The insensitive mechanism of poultry to zearalenone: A review. *Animal Nutrition*, 7; 587-592. DOI: 10.1016/j.aninu.2021.01.002
- Yao, H., Zhu, F., Kincaid, R., Hruska, Z., & Rajasekaran, K. (2023). A low-cost, portable device for detecting and sorting aflatoxin-contaminated maize kernels. *Toxins*, 15; e197. DOI: 10.3390/toxins15030197
- Yao, Y., Pang, Y. X., Manickam, S., Lester, E., Wu, T., Pang, C. H. (2022). A review study on recent advances in solar drying: Mechanisms, challenges and perspectives. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 248; e111979. DOI: 10.1016/j.solmat.2022.111979