

Qualidade sanitária de cereais e pseudocereais: Comparativo entre farinha obtida com e sem reconstituição

Sanitary quality of cereals and pseudocereals: Comparison between flour obtained with and without reconstitution

Calidad sanitaria de cereales y pseudocereales: Comparación entre harina obtenida con y sin reconstitución

Recebido: 26/11/2024 | Revisado: 02/12/2024 | Aceitado: 03/12/2024 | Publicado: 05/12/2024

Elizabeth Harumi Nabeshima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2634-9513>
Instituto de Tecnologia de Alimentos, Brasil
E-mail: nabeshima@ital.sp.gov.br

Martha Zavariz de Miranda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3359-6384>
Embrapa Trigo, Brasil
E-mail: martha.miranda@embrapa.br

Luan Ramos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1150-6966>
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
E-mail: luanramosea@gmail.com

Rebeca Salvador Reyes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7422-5742>
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
Universidad Tecnológica del Perú, Perú
E-mail: r192339@dac.unicamp.br; rsalvador@utp.edu.pe

Maria Teresa Pedrosa Silva Clerici

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8445-336X>
Universidade Estadual de Campinas, Brasil
E-mail: mclerici@unicamp.br

Resumo

A crescente demanda por produtos integrais está associada aos benefícios proporcionados pelos macronutrientes e micronutrientes presentes em cereais e pseudocereais. Contudo, a presença de contaminantes, especialmente fungos produtores de micotoxinas nas camadas externas dos grãos, pode comprometer a qualidade sanitária e representar risco à saúde do consumidor. O objetivo desta revisão foi comparar a moagem dos grãos na forma inteira e fracionada quanto à qualidade microbiológica das farinhas integrais de cereais e pseudocereais. Os cereais integrais apresentam maior risco de contaminação, exigindo medidas rigorosas desde o plantio até a distribuição, incluindo práticas adequadas de pós-colheita, armazenamento, moagem e embalagem, com rastreamento eficiente de fungos e micotoxinas. No caso do trigo, as etapas de controle aplicadas à produção de farinha refinada podem ser adotadas para a farinha integral, complementadas por tratamentos de superfície para remoção de contaminantes. Já para o milho integral, a classificação por tipos necessita de critérios mais rigorosos do que os estabelecidos pela legislação atual. Nos pseudocereais, práticas de classificação e controle ainda são incipientes, exigindo protocolos específicos para cada tipo de grão e seus contaminantes potenciais. Além disso, muitos grãos promovidos como integrais carecem de normativas claras para controle de contaminantes. Reduzir os níveis de micotoxinas nos grãos demandará avanços tecnológicos, como o uso de inteligência artificial e Big Data, permitindo monitorar e melhorar a segurança em toda a cadeia produtiva, desde o plantio até o consumidor final, contribuindo para a oferta de produtos mais seguros e saudáveis.

Palavras-chave: Micotoxinas; Poaceae; Regulamentação, Trigo.

Abstract

The growing demand for whole-grain products is associated with the benefits of the macronutrients and micronutrients found in cereals and pseudocereals. However, contaminant presence, especially mycotoxin-producing fungi on the outer layers of grains, can compromise sanitary quality and pose health risks to consumers. This review aimed to compare the grinding of whole and fractionated grains regarding the microbiological quality of whole cereal and pseudocereal flours. Whole grains present a higher risk of contamination, requiring strict measures from planting to distribution, including proper post-harvest practices, storage, milling, and packaging, with efficient tracking of fungi and mycotoxins.

For wheat, the control steps used in refined flour production can be adopted for whole-grain flour, complemented by surface treatments to remove contaminants. For whole corn, type classification criteria need to be stricter than those currently established by legislation. In pseudocereals, classification and control practices are still underdeveloped, requiring specific protocols for each type of grain and its potential contaminants. Additionally, many grains marketed lack clear regulations for contaminant control. Reducing mycotoxin levels in grains will require technological advancements, such as artificial intelligence and Big Data, enabling monitoring and safety improvement throughout the production chain, from planting to the final consumer, contributing to the supply of safer and healthier products.

Keywords: Micotoxin; Poaceae; Regulation; Wheat.

Resumen

La creciente demanda de productos integrales está asociada a los beneficios proporcionados por los macronutrientes y micronutrientes presentes en cereales y pseudocereales. Sin embargo, la presencia de contaminantes, especialmente hongos productores de micotoxinas en las capas externas de los granos, puede comprometer la calidad sanitaria y representar riesgos para la salud del consumidor. El objetivo de esta revisión fue comparar la molienda de granos integrales y fraccionados respecto a la calidad microbiológica de harinas de cereales integrales y pseudocereales. Los granos integrales presentan un mayor riesgo de contaminación, lo que exige medidas estrictas desde el cultivo hasta la distribución, incluyendo prácticas adecuadas de poscosecha, almacenamiento, molienda y envasado, con un seguimiento eficiente de hongos y micotoxinas. En el caso del trigo, las etapas de control aplicadas en la producción de harina refinada pueden adoptarse para la harina integral, complementadas con tratamientos de superficie para eliminar contaminantes. Para el maíz integral, los criterios de clasificación por tipos necesitan ser más rigurosos que los establecidos por la legislación actual. En los pseudocereales, las prácticas de clasificación y control aún están poco desarrolladas, requiriendo protocolos específicos para cada tipo de grano y sus contaminantes potenciales. Además, muchos granos comercializados como integrales carecen de normativas claras para el control de contaminantes. Reducir los niveles de micotoxinas en los granos demandará avances tecnológicos, como el uso de inteligencia artificial y Big Data, permitiendo monitorear y mejorar la seguridad a lo largo de toda la cadena productiva, desde el cultivo hasta el consumidor final, contribuyendo a la oferta de productos más seguros y saludables.

Palabras clave: Micotoxinas; Poaceae; Regulación. Trigo.

1. Introdução

Nos últimos anos vêm se observando o aumento do sobrepeso e obesidade da população, sendo considerada uma epidemia mundial, que leva ao aumento da prevalência de doenças crônicas não transmissíveis - DCNT (diversos tipos de câncer, hipertensão, diabetes, doenças do aparelho circulatório e respiratórias crônicas) (Zhang et al., 2021) demonstrando a importância da alimentação, atividade física e outros aspectos vinculados à mudança de estilo de vida (Visscher & Seidell, 2001).

No Brasil, de acordo com os dados de Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) realizado em 2019, o percentual de pessoas obesas (adultas) tem aumentado, passando de 12,2% em 2002/2003 para 26,8% em 2019. Para o mesmo período (17 anos), a proporção de população adulta com sobrepeso passou de 43,3% para 61,7%, representando quase dois terços dos brasileiros. Os aumentos nos índices de obesidade estão correlacionados com hábitos alimentares inadequados, como consumo excessivo de gorduras, sódio e açúcares, e baixa ingestão de micronutrientes resultantes do baixo consumo de alimentos básicos, principalmente de grãos integrais, frutas, verduras e legumes (IBGE, 2020).

Estratégias globais de melhoria da saúde da população, como o consumo de produtos integrais, tem sido incentivada, pelos benefícios à saúde comprovados pela comunidade científica e reconhecidos pelos consumidores (Queiroz & Nabeshima, 2014). No passado os benefícios dos produtos integrais estavam relacionados com o teor de fibras alimentares, no entanto, atualmente sabe-se que além das fibras, os cereais apresentam proteínas, lipídios funcionais (em ácidos graxos essenciais) e importantes micronutrientes (vitaminas, minerais e compostos fitoquímicos) (Liu, 2007; Okarter & Liu, 2010).

Em 2021, após intenso trabalho de levantamento de dados e reuniões, foi regulamentado os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais através da RDC 493 de 15 de abril de 2021 (BRASIL, 2021).

Neste contexto, especialmente pelo clima tropical e subtropical do nosso país, que propicia o desenvolvimento de fungos, especialmente de fungos toxigênicos pelo risco a saúde humana, torna-se importante as informações de toda cadeia de produção das farinhas de cereais integrais. Segundo Scussel (2002), o crescimento de fungos e a produção de micotoxinas podem

ocorrer em diversas fases do desenvolvimento, maturação, colheita, transporte, processamento ou armazenamento dos grãos. Sendo que alguns fungos e micotoxinas podem ser encontrados no produto final, resistindo aos processos de industrialização.

Alimentos e rações animais contaminados por micotoxinas podem produzir efeitos agudos (micotoxicoses) ou crônicos, e algumas destas toxinas podem ser carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas (Lamardo et al., 2006).

Para Lazzari (1997), os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos nos grãos são umidade e temperatura no momento da colheita, secagem dos grãos, tipos e período de armazenamento, nível inicial de contaminação por impurezas, pragas primárias e secundárias, concentração de CO₂ intergranular, condições físicas e sanitárias dos grãos.

Os fungos toxigênicos, pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, em condições ambientais favoráveis podem produzir metabólitos secundários tóxicos e podem contaminar os grãos, antes e/ou após a colheita, persistindo em alimentos e rações destinadas ao consumo humano ou animal (Carvajal & Arroyo, 1997), uma vez que lesões mecânicas ou provocadas pelos insetos ou durante o processamento podem tornar os grãos susceptíveis a proliferação de fungos (Jard et al., 2011).

Para Misra et al. (2020), o uso de soluções inteligentes como a Inteligência Artificial, Big data e internet das coisas são ferramentas inovadoras e disruptivas, que podem contribuir com a segurança do sistema agroalimentar, para rastrear, monitorar e gerenciar de risco da cadeia de produção de alimentos, e com isso evitar que contaminantes químicos, físicos ou biológicos cheguem na mesa do consumidor.

Desta forma, o objetivo desta revisão foi comparar a moagem dos grãos na forma inteira e a fracionada quanto à qualidade microbiológica das farinhas integrais de cereais e pseudocereais.

2. Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica com foco em diferentes fontes, como teses, dissertações, livros e artigos científicos, relacionadas a farinhas de cereais e pseudocereais, bem como uma busca nas legislações vigentes relacionadas com o tema do trabalho. A busca utilizou as bases de dados "Portal CAPES", "Web of Science", "Google Acadêmico" e "SciELO", empregando termos como trigo, micotoxinas, farinha, cereais, pseudocereais e suas traduções para o inglês. Foram priorizadas fontes mais recentes, mas sem restrição de data de publicação. A revisão narrativa conduzida abrangeu conteúdos disponíveis nas bases mencionadas, com o objetivo de proporcionar uma análise ampla e atualizada sobre o tema investigado (Silva & Vilela, 2019).

3. Resultados e Discussão

3.1 Morfologia dos grãos de cereais e pseudocereais

Os cereais pertencem à família Poaceae e são plantas monocotiledôneas, cuja cariopse pode apresentar-se firmemente aderida a casca, tal como o arroz, o sorgo e a maioria das variedades de cevada, de aveia e algumas de trigos ancestrais, ou os grãos podem se desprenderem facilmente da casca durante a colheita, apresentando cariopses nuas contendo somente gérmen, endosperma e a membrana da semente (Honesey, 1994), como o trigo, o centeio, o triticale e o milho.

Na Figura 1 são apresentados os principais grãos de cereais produzidos mundialmente, como (a) trigo, (b) milho e (c) arroz, bem como aqueles produzidos em menor proporção, como (d) aveia, (e) cevada, (f) centeio, (g) milheto e (h) sorgo (Slavin et al., 2000; Serna-Saldivar, 2010).

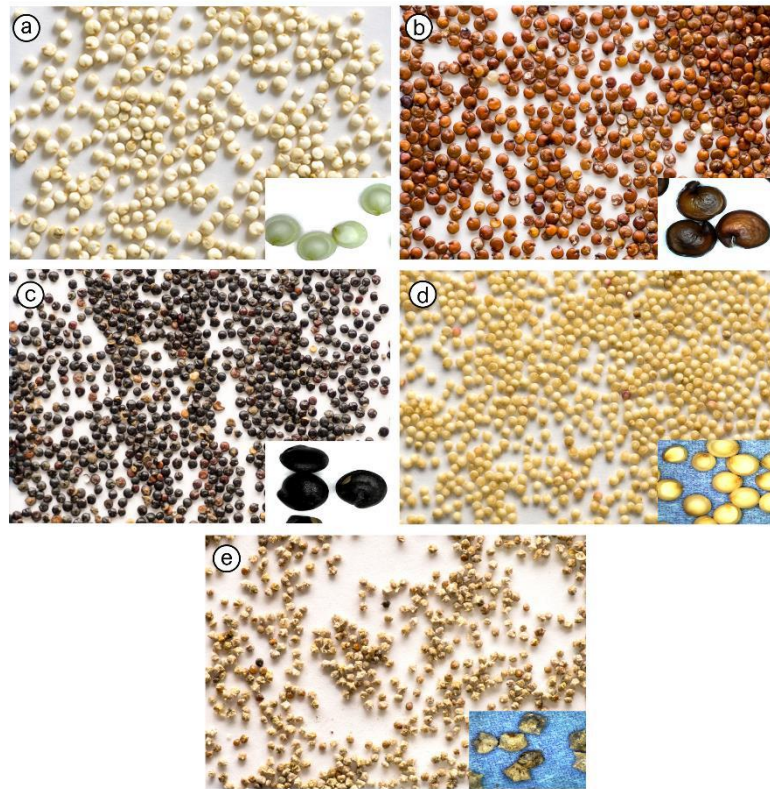
Figura 1 - Grãos dos principais cereais: (a) Trigo, (b) Milho, (c) Arroz, (d) Aveia, (e) Cevada, (f) Centeio, (g) Milheto, e (h) Sorgo.



Fonte: Autoria própria.

Nesta revisão, também serão considerados os pseudocereais apresentados na Figura 2, entre os quais se destacam a (a) quinoa branca, (b) quinoa vermelha, (c) quinoa preta, (d) amaranto, e o (e) Cañihua, por serem grãos com função e composição similares às dos cereais, embora botanicamente sejam classificados como dicotiledôneas (Alvarez-Jubete et al., 2010). Além disso, outros pseudocereais ainda pouco conhecidos no Brasil, como o trigo sarraceno, também serão abordados.

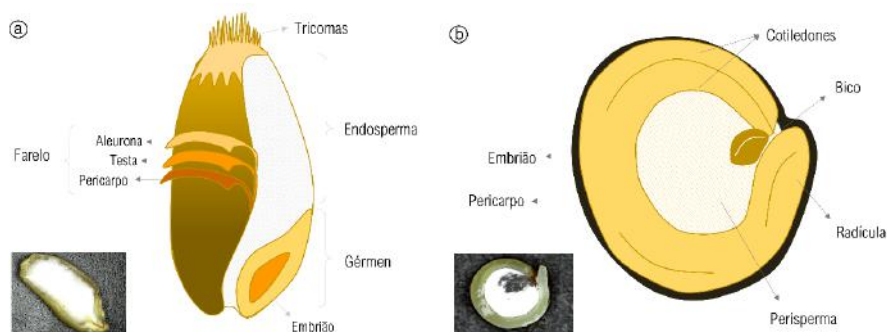
Figura 2 - Grãos de pseudocereais: (a) Quinoa branca, (b) Quinoa vermelha, (c) Quinoa preta, (d) Amaranto, e (e) Cañihua.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 3a apresenta a estrutura do grão de trigo, cuja estrutura básica (endosperma, farelo e gérmen) é semelhante aos demais grãos (Slavin et al., 2000; Andersson, 2011). Além disso, a Figura 3b ilustra a morfologia do grão de quinoa, um pseudocereal que possui dois cotilédones, um embrião, pericarpo, perisperma e radícula. Essas distinções morfológicas são importantes para compreender as propriedades funcionais e nutricionais desses grãos, uma vez que a quinoa, diferente do trigo, armazena seus nutrientes principalmente no perisperma, conferindo-lhe características nutricionais distintas, como maior teor de proteínas e aminoácidos essenciais.

Figura 3 - Desenho esquemático da morfologia do (a) trigo (cereal) e da (b) quinoa (pseudocereal).



Fonte: Autoria própria.

Para consumo humano, os grãos estão sujeitos a algum tipo de transformação para facilitar a sua utilização como ingrediente, passando por etapas de limpeza, estabilização enzimática e moagem para obtenção da farinha (Slavin et al., 2000).

Os equipamentos necessários para transformação dos grãos em farinha podem variar dependendo das características estruturais do grão, quanto à presença de casca aderida ao grão, presença de vinco ou reentrância (*crease*), que existe no trigo, do formato, do tamanho dos grãos e de outras particularidades. Na Tabela 1, podemos observar algumas características dos grãos, mostrando as variações entre os cereais, como formato, comprimento e peso que ocorrem em um mesmo cereal dependendo da variedade utilizada.

Tabela 1 - Características estruturais e particularidades dos principais cereais e pseudocereais.

Nome popular	Nome científico	Formato	Comprimento/ Peso médio	Particularidades
PRINCIPAIS CEREAIS*				
Trigo	<i>Triticum spp.</i>	Arredondados no lado dorsal com ranhura ao longo da parte ventral	Comprimento: 5 a 9 mm Peso: 35 a 50 mg	Variações de cor e dureza conforme cultivar. Presença de <i>crease</i> (reentrância). Contém glúten
Milho	<i>Zea mays</i>	Formatos variados (dentado, arredondado, alongado entre outros)	Comprimento: variável Peso: 350 mg	Não contém glúten
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Grãos longos, médios ou curtos, com formas arredondadas, semi-arredondadas ou meio alongadas	Comprimento: 5 a 8 mm Peso: 25 mg	Não contém glúten
Aveia	<i>Avena sativa</i>	Fusifforme e extremidades pontiagudas encoberta por tricomas	Similar ao trigo e centeio, mas recoberto por tricomas	Não contém glúten
Centeio	<i>Secale cereale</i>	Similar ao trigo, mas mais comprido e esguio	Comprimento: 6 a 8 mm Peso: 20 a 35 mg	Contém glúten
Cevada	<i>Triticum espelta</i>	Semente sulcada longitudinalmente	Peso: 35 mg	Contém glúten
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	Esférico	Peso: 20 a 30 mg	Não contém glúten
PRINCIPAIS PSEUDOCEREAIS**				
Amaranto	<i>Amaranthus caudatus</i> , <i>A. cruentus</i> , <i>A. hypochondriacus</i>	Frutos aquenios	Diâmetro: 1,2- 1,4 mm Peso: 0,56 a 78g/1000 grãos	Não contém glúten
Quinoa	<i>Chenopodium quinoa</i>	Redondo	Diâmetro: 1-3 mm Peso: 1,9-4,3g/1000g	Alto teor de saponinas (sabor amargo). Não contém glúten
Trigo sarraceno	<i>Fagopyrum esculentum</i> (comum) <i>Fagopyrum tataricum</i> (tartárico)	Forma poligonal de 3 lados (triangular)	Diâmetro: 4-5 mm Peso: 10-20g/1000g	Não contém glúten

Fonte: Adaptado de: *Honesey (1994); **Hamaker (2008).

Quanto ao glúten, ou mais especificamente a fração proteica responsável pela doença celíaca, que são as prolaminas presentes no trigo (gliadina), centeio (secalina) e cevada (hordeína) (Barbieri, 1996), está ausente nos pseudocereais. Quanto a aveia, há vários trabalhos indicando que as prolaminas deste cereal não são tóxicas para o celíaco (Storsrud et al., 2003; Fric et

al., 2011; Garsed & Scott, 2007), uma vez que a estrutura da avenina é diferente das outras prolaminas, além de estar presente em um percentual menor, cerca de 5-15%, que no trigo, centeio e cevada, que contém de 35 a 50% (Fric et al., 2011; Garsed & Scott, 2007). De acordo com Storsrud et al. (2003), o glúten presente na aveia é oriundo de contaminação, uma vez que as exigências e os locais de cultivo são próximos as dos cereais que contém glúten (trigo, centeio, cevada e triticale), sendo propícios para esta ocorrência, podendo ocorrer em diversas fases da cadeia de produtiva da aveia, desde o plantio, desenvolvimento, colheita, transporte e processamento.

Quanto às contaminações que afetam a inocuidade dos grãos, alguns procedimentos de boas práticas de pós-colheita aliada a métodos de pré-limpeza e limpeza são necessários para inibir o desenvolvimento ou tratar os diferentes tipos de contaminantes. Segundo Tibola et al. (2009), os contaminantes podem ser classificados em:

- ✓ Físicos (fragmentos de insetos, vidros, pedras e outros materiais estranhos);
- ✓ Biológicos (micro-organismos patogênicos e toxigênicos, insetos, ácaros, pombos e roedores);
- ✓ Químicos (micotoxinas, resíduos de pesticidas e metais pesados).

Dentre estas contaminações em grãos e seus subprodutos, os fungos toxigênicos e as micotoxinas são os principais alvos de preocupação devido aos efeitos à saúde do consumidor, especialmente pelos diversos tipos de micotoxinas apresentarem termoestabilidade utilizando diferentes métodos de processamento térmico (Boudra et al., 1995, Bullerman & Bianchini, 2007; Bordini et al., 2017).

Para Jard et al. (2011), a prevenção das micotoxicoses incluem estratégias pré e pós-colheita, sendo que a melhor alternativa é a prevenção da formação das micotoxinas no campo, embora, frequentemente, não seja uma alternativa eficiente. Segundo este autor, as estratégias pré-colheita incluem a seleção de variedades de sementes resistentes a fungos, técnicas de cultivo sustentável (rotação de cultura), técnicas de controle biológico, entre outras.

De acordo com as recomendações da FAO (FAO, 1997), e a publicação técnica da Embrapa Trigo (Tibola et al., 2009) sobre “Boas Práticas e Sistema APPCC na Pós-Colheita de Trigo”, em países de clima tropical como o Brasil, com temperatura e umidade relativa ambiental elevadas, a secagem eficiente dos grãos, o controle de fungos e insetos e o acondicionamento ou uso de silos adequados são as principais medidas a serem utilizadas em conjunto para controlar o desenvolvimento de fungos toxigênicos durante o armazenamento. Outra forma de controlar o crescimento destes micro-organismos em produtos armazenados é através do controle ambiental ou uso de conservadores ou inibidores naturais, sendo importante também o controle de insetos, que podem danificar os grãos, tornando-os susceptíveis a contaminação (sendo porta de entrada de micro-organismos).

Quanto à umidade, é recomendado que seja realizada a secagem dos grãos logo após a colheita, como medida eficaz para evitar o surgimento e desenvolvimento de fungos e produção de micotoxinas (FAO, 1997; Montenegro & Clerici, 2020; Tibola et al., 2009). De acordo com a FAO (1997), a quantidade de água máxima capaz de garantir segurança durante o armazenamento dos grãos corresponde à atividade da água (a_w) de cerca de 0,70. A manutenção de alimentos abaixo de A_w de 0,70 é uma técnica eficaz preconizada mundialmente para controlar os danos causados pelos fungos e pelas micotoxinas em alimentos.

No caso de grãos de trigo, pela legislação brasileira, IN nº 38 (BRASIL, 2010), o máximo de umidade permitido é de 13%, devido ao clima do país, para facilitar a sua conservação.

Se os grãos não apresentarem pragas primárias, em pequena escala, o acondicionamento em embalagens de polietileno é eficaz; mas já em larga escala, o armazenamento em condições seguras requer estruturas impermeáveis contra umidade, ventiladas e equipadas com instrumentos de controle de umidade são importantes para garantir o controle da umidade relativa do ar abaixo de 70% (FAO, 1997).

3.2 Farinha integral e os tipos de moagem de cereais (trigo, milho e aveia) e suas etapas

A definição de farinha integral possui variações em cada país devido à falta de harmonização, podendo ser conceituada como sendo o grão inteiro, moído, quebrado, flocado, contendo as partes principais (endosperma amiláceo, gérmen e farelo) presentes nas mesmas proporções relativas que o grão intacto.

Variações desta definição podem ser observadas, por exemplo, no *Healthgrain*, projeto de pesquisa europeu que visa auxiliar na melhoria da saúde das populações dos países europeus, que permite pequenas perdas de componentes, sendo de menos que 2% do grão e 10% do farelo, que deve ser processado através de métodos que garantam a inocuidade e qualidade da farinha integral (Andersson, 2011). A legislação canadense também admite perdas de até 5% dos componentes do grão (HEALTH CANADA, 2013).

Nos últimos anos tem sido visto, em artigos de periódicos nacionais e internacionais, o uso do termo “farinha de grão inteiro” (*whole grain flour*), uma vez que, em muitos países é facultativo à farinha integral ter ou não gérmen na sua composição (Scarton et al., 2024).

Segundo Costa (2009), a farinha de trigo integral dependendo do tipo de processamento pode apresentar redução de sua vida de prateleira pelo desenvolvimento de fungos, além de odores e sabores desagradáveis devido à rancificação do gérmen. Com isso a farinha integral sem gérmen conserva-se por mais tempo (Slavin et al., 2000). Uma alternativa pode ser a aplicação de métodos de estabilização que reduza a microbiota e promovam a inativação das enzimas (lípsases) responsáveis pela oxidação. Estes métodos podem ser baseados no emprego de temperaturas altas ou de energia para modificar células vivas e compostos químicos, tais como radiação gama ou aplicação de radiação infravermelha em condições adequadas (Pereira & Chang, 1993), embora possa afetar a qualidade reológica da farinha de trigo dependendo das condições utilizadas (Costa, 2009).

A farinha de trigo integral pode ser obtida predominantemente através de dois processos: moagem fracionada dos grãos utilizando moinhos de rolos e moagem inteira dos grãos em moinho de pedras, podendo ser moído também por moinho de martelos (Doblado-Maldonado et al., 2012).

De um modo geral, independentemente do tipo de moagem, a limpeza dos grãos deve ser realizada utilizando diferentes princípios de separação e classificação para eliminar as impurezas utilizando os princípios da calibragem, triagem, magnetismo, influência da forma e densidade, tratamento de superfície, e classificação aerodinâmica sobre mesa densimétrica (Pereira, 2001), também visa reduzir a contaminação microbiana através do uso de escovas (Andersson, 2011).

Alguns países permitem que uma pequena parte do grão seja removida durante o processo com o objetivo de melhorar a qualidade sanitária do produto. Os métodos de retirada de parte da camada externa do grão (farelo), fração com maiores teores de contaminantes microbiológicos, podem ser realizadas pelos métodos de *peeling* (fricção), *pearling* (abrasão) ou por polimento. O *peeling* é o método mais utilizado no processamento de farinha integral, por ser um método mais delicado em comparação com o *pearling*, que preserva grande parte do teor de fibra alimentar e mantém intacta a camada de aleurona (Andersson, 2011).

O método de *peeling* é bastante utilizado em arroz e foi adaptado para o processamento de trigo. Este método retira sob condições controladas a camada ou película mais externa da camada de aleurona do grão através de fricção. O *peeling* é eficiente para reduzir a contagem microbiana e os metais pesados, diminuindo em 40-50% a contagem bacteriana. O *peeler* remove cerca de 0,5 a 2,0% do grão, reduzindo um pouco o teor de fibras, mas aumentando em grande proporção a inocuidade desta farinha, uma vez que na camada externa, principalmente na *crease* ou reentrância do grão, é que estão concentrados os maiores teores de contaminantes químicos e microbianos (Andersson, 2011).

A princípio, a etapa de limpeza deverá ser rigorosa no moinho de rolos, para evitar que qualquer sujidade danifique o moinho, isto favorece a diminuição de contaminantes, como trigos chochos, quebrados, outros grãos, terras e pedras (Figura 4).

Figura 4 - Impurezas e defeitos encontrados durante a seleção do trigo: (a) Matérias primas estranhas, (b) Danificados por insetos, (c) Chochos, triguilhos e quebrados, e (d) Danificados pelo calor, mofados e quebrados.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Instrução Normativa N° 38, de 30 de novembro de 2010, visualizada na Tabela 2, o trigo tipo 1 poderá conter no máximo 1,45 % de impurezas, logo o processo de limpeza deve ser muito rigoroso (BRASIL, 2010).

Tabela 2 - Tipos do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades - Limites máximos de tolerância expresso em %/peso.

Tipos	Matérias estranhas e impurezas	Danificados por insetos	Danificados pelo calor, mofados e ardidos	Chochos, triguilhos e quebrados	Total de defeitos
1	1,0	0,5	0,5	1,5	2,0
2	1,5	1,0	1,0	2,5	3,5
3	2,0	2,0	2,0	5,0	7,0
Fora do tipo	>2,0	>2,0	10,0	>5,0	>7,0

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010).

Os moinhos de pedra são os equipamentos de moagem mais antigos, que simultaneamente utilizam a compressão, cisalhamento e abrasão para moer grãos entre duas pedras e produzir uma taxa de extração teórica de 100%. Os moinhos de pedra geram um calor considerável devido ao atrito dependendo do ajuste da distância entre as pedras, podendo resultar em danos consideráveis ao amido, proteína e ácidos graxos insaturados em comparação com outras técnicas de moagem (Doblado-Maldonado et al., 2012).

O moinho de rolos envolve a separação do endosperma do farelo e germe, seguido de redução gradual do tamanho do endosperma. Neste processo, os grãos passam por uma série de rolos lisos e corrugados, acompanhados por peneiramento entre os estágios. Segundo a RDC 493, de 15 de abril de 2021, a produção de farinha integral é obtida misturando farelo e germen com a farinha de endosperma nas proporções do grão intacto (BRASIL, 2021).

O condicionamento, que consiste no tratamento dos grãos de trigo por umidade, ou a combinação de calor e umidade com a finalidade de modificar as características físicas do trigo, visando favorecer a separação entre o endosperma e a casca, facilitar o peneiramento na moagem, evitar a moagem excessiva do farelo e facilitar o trabalho mecânico da moagem nos bancos de cilindros, otimizando o aproveitamento de energia (Pereira, 2001). Na obtenção de farinha integral está etapa torna-se menos importante, podendo ser em menor percentual, cerca 1 a 2% umidade, com o objetivo de somente amaciar o grão e melhorar a eficiência energética (Doblado-Maldonado et al., 2012).

Já a moagem é dividida em etapas de trituração, redução e compressão, e tem por objetivo separar o endosperma e o farelo (casca e germe), reduzir endosperma a farinha e obter o máximo em extração com o melhor rendimento industrial (Pereira, 2001). A etapa de degerminação pode ou não ser incluída no processo, mas comumente não é separado o gérmen do farelo. Para produção de farinha integral, a eficiência energética também pode ser melhorada ajustando a folga dos rolos, alterando alguns rolos lisos por ondulado durante a redução, ajustando as válvulas de ar do purificador etc. (Doblado-Maldonado et al., 2012).

A obtenção dos flocos de trigo envolve um processo adicional de laminação dos grãos previamente condicionados e secos. O trigo é submetido a um processo de pré-cozimento a vapor para amolecer a estrutura do grão e, em seguida, é passado através de rolos que o comprimem, formando os flocos. Este método assegura uma melhor absorção de nutrientes e um tempo de cozimento mais curto quando comparado ao trigo inteiro. Os produtos separados e os diferentes tipos de farinha integral obtidos durante o processo de moagem, bem como os flocos de trigo, são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Esquema dos produtos derivados da moagem e processamento dos grãos de trigo.



Fonte: Autoria própria.

Embora a moagem por moinho de pedras seja melhor aceita pelos consumidores, o moinho de rolos é mais econômico e flexível, dependendo do ajuste realizado, podendo resultar em um mínimo esforço de cisalhamento e compressão, gerando menos calor e menor destruição de componentes químicos, além da vantagem do farelo de trigo poder ser separado do

endosperma e ser submetido ao aquecimento ou a moagem fina, influenciando o *shelf life* e as propriedades funcionais da farinha (Doblado-Maldonado et al., 2012).

Quanto ao processamento do milho, pode ser realizado através da moagem úmida ou seca, dependendo dos derivados que se deseja obter. A moagem úmida é realizada a maceração do grão para o seu amolecimento, facilitando desta forma a separação dos constituintes químicos do grão (amido, proteínas, óleo e fibras). Neste processo não se obtém nenhum produto integral, pois ele é feito visando exclusivamente a obtenção do amido de milho e co-produtos (White & Johnson, 2003).

Já na moagem seca, se obtém o fubá integral, onde o milho é diretamente moído em moinhos de pedra ou facas. Para aumentar a estabilidade ao armazenamento, o milho pode passar pela remoção das partes externas ao grão, gérmen e pericarpo, que serão destinados a extração de óleo e ração animal, respectivamente. Enquanto a fração do endosperma é destinada a produção de *grits*, fubá, cereal matinal, canjica, entre outros produtos (White & Johnson, 2003; Bordini, 2017). Esses produtos derivados da moagem seca do milho, incluindo canjica, grits, fubá, flocos grossos e flocos finos, são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Esquema dos produtos derivados da moagem seca e redução dos grãos de milho.



Fonte: Autoria própria.

O milho deve passar por processos de limpeza, porém este não é tão rigoroso quanto o processo de trigo, como pode ser visto na Tabela 3, Instrução Normativa MAPA nº 60 de 22 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011). Como exemplo, um fubá integral tipo 1, pode conter até 12% de impurezas, o que favorece muito a presença de contaminantes neste grão.

Bordini et al. (2017) descreveram processo de moagem industrial a seco utilizado por uma das maiores indústrias de processamento de milho do Brasil, que segue as seguintes etapas: os grãos de milho são primeiramente limpos através de peneiras para remoção dos grãos quebrados, de caule, cascas e outras impurezas. A seguir foram levados para a torre de moagem, onde receberam tratamento de vapor de água (160 °C) para favorecer o processo de degerminação. Nesta etapa, o milho foi separado em três principais frações: germe e pericarpo (frações externas) e endosperma (fração interna). Nesta indústria, o gérmen é usado na produção de óleo refinado e o pericarpo para alimentação animal. Já o endosperma é utilizado para produção de cereais matinais, farinha de milho e *grits*.

Tabela 3 - Limites máximos de tolerância expressos em percentual (%) para milho.

Tipos	Grãos avariados		Grãos quebrados	Matérias estranhas e impurezas	Carunchados
	Ardidos	Total			
1	1,0	6,0	3,0	1,0	2,0
2	2,0	10,0	4,0	1,5	3,0
3	3,0	15,0	5,0	2,0	4,0
Fora do tipo	5,0	20,0	>5,0	>2,0	8,0

Fonte: Adaptado de BRASIL (2011).

Quanto à aveia, as principais operações realizadas no processamento industrial da aveia estão: limpeza, descascamento, tratamento hidrotérmico e flocagem. Na etapa de limpeza, as matérias estranhas e impurezas são removidas. No descascamento a aveia é seca e classificada por tamanho para permitir uma eficiente remoção das cascas, que por ser cerosa, fibrosa e totalmente indigerível, deve ser eliminada nesta etapa. A seguir, as cariopses, que representam aproximadamente 75% do total da aveia processada, são cortadas entre dois e quatro pedaços, tratadas hidrotérmicamente (para inativação das lípases e evitar o ranço hidrolítico), flocadas, secas e embaladas (Gutkoski & Pedó, 2000). Os produtos derivados dessas etapas do processamento da aveia, incluindo os flocos e outros subprodutos, são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Esquema dos produtos derivados da moagem e processamento dos grãos de aveia.



Fonte: Autoria própria.

O processamento em farinhas de pseudocereais, o amaranto, a quinoa e o trigo sarraceno, ocorre via moinho de martelo ou facas, mas eles diferem largamente em suas características morfológicas e histológicas, ao ponto de não responderem da mesma forma a um mesmo processamento físico, como a moagem. Como exemplo, em sementes como o amaranto e a quinoa, o embrião ou germe, rodeia o amido que está no perisperma e, em conjunto com o revestimento das sementes, compõem a fração farelo, que é relativamente rica em lipídeos e proteínas (Arendt & Bello, 2008).

A limpeza dos grãos de amaranto consiste em remover a palha da flor por abanamento (manual) e industrialmente exige um separador de impurezas por flotação em torre, devido ao seu diâmetro (Tabela 1) e baixa densidade (Marcilio et al., 2003).

A quinoa, por apresentar de 1 a 3% de saponinas, localizadas principalmente nas camadas externas do grão, sofre processos para redução destes compostos, que nestes níveis são prejudiciais ao sistema digestório humano. Portanto o seu consumo, via moagem direta, como farinha integral não é indicado. Segundo Borges et al. (2010), ela deve passar por processos como lavagem em água corrente ou a seco, feito um descascamento por abrasão e polimento.

Com o aumento do consumo de pseudocereais e sua industrialização, muitos processos devem ser desenvolvidos para melhorar a secagem e limpeza dos grãos, estabelecendo limites para diminuir contaminantes.

A tecnologia de Big Data tem potencial para contribuir com a segurança no fornecimento de alimentos e mitigar o impacto da incidência de contaminação por fungos toxigênicos através da combinação de dados ambientais, incluindo relatórios meteorológicos ou imagens de satélite, históricos de pesquisa ou outras mídias, com dados agrícolas e com isso prever perigos na agricultura (Deng et al., 2021). Van Der Ferls-Klers et al. (2012) realizaram estudo de avaliação dos impactos das mudanças climáticas na ocorrência de desoxinivalenol (DON) em trigo cultivado no noroeste da Europa até 2040, considerando os efeitos combinados de mudanças na fenologia do trigo e no clima. Dados de modelo climático para o período futuro de 2031–2050 em relação ao período de referência de 1975–1994 e um gerador de clima foi usado para gerar séries sintéticas de dados meteorológicos diários para a linha de base e os períodos futuros. Os resultados demonstraram que a contaminação por DON aumentou em até 3 vezes na maior parte da região de estudos. O uso de modelos preditivos em uma escala local pode ser útil para monitorar de forma similar outros riscos, e com isso gerenciar a melhor época para plantio e colheita, bem como segregar lotes com maiores níveis de contaminação ou tomar outras medidas sanitárias para garantir a segurança alimentar na cadeia de abastecimento dos alimentos

3.3 Principais micro-organismos de importância sanitária em cereais

As micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos de fungos na sua maior parte, nos cereais, pertencentes aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (Hussein & Brasel, 2001; Lamardo et al., 2006; Chéli et al., 2013).

As contaminações de alimentos por micotoxinas representam importante ameaça à saúde humana e à sanidade animal, pois se as micotoxinas forem consumidas em excesso e por tempo prolongado, pode induzir ao câncer, provocar mutagenicidade e transtornos estrogênicos, gastrointestinais, urogenitais, vasculares, renais e nervosas, além de serem imunodepressoras, podendo reduzir a resistência e com isso aumentar a susceptibilidade a enfermidades infecciosas (FAO, 1997; Wang et al., 2024).

A Tabela 4 apresenta as cinco principais micotoxinas que ocorrem em alimentos de consumo básico, as espécies de fungos que as produzem e os principais efeitos observados no ser humano e em animais (FAO, 1997).

No Brasil, as condições climáticas favorecem o desenvolvimento de fungos, que ocorre em temperaturas que variam de 25 a 30°C, mas também que toleram a faixa de 12 a 45°C (Kwiatkowski & Alves, 2007), sendo que a produção de micotoxinas pode ocorrer em qualquer época do desenvolvimento do grão, colheita ou armazenamento do alimento (Iamanaka, 2010). Entretanto, durante o armazenamento dos grãos, os fatores que mais influenciam o desenvolvimento microbiano e a produção de micotoxinas são a atividade de água, disponibilidade de oxigênio, temperatura, pH e a presença de antifúngicos.

Tabela 4 - Micotoxinas em grãos de primeira necessidade e sementes.

Micotoxinas	Produto	Fontes	Efeitos de ingestão
Deoxinivalenol/ Nivalenol	Trigo, milho, cevada	<i>Fusarium graminearum</i>	Toxicose humana relatada na Índia, China, Japão e Coreia. Tóxica para animais, especialmente em porcos
Zearalenona	Milho e trigo	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i> , <i>F. crookwellense</i>	Possível cancerígeno em humanos pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (AIPC). Afeta sistema reprodutivo de porcas
Ocratoxina A	Cevada, trigo e muitos outros produtos	<i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>Penicillium verrucosum</i>	Suspeita pela AIPC como cancerígeno em humanos. Tóxico para porcos e aves domésticas. Causa leucoencefalomalacia equina (ELEM), doença fatal em cavalos
Aflatoxina B1, B2, G1 e G2	Milho, amendoim e muitos outros produtos	<i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus parasiticus</i>	Identificadas como cancerígenas pelo AIPC. Efeitos diversos em animais.

Fonte: Adaptado de FAO (1997).

Segundo a Instrução Normativa – IN nº 160, de 1º de julho de 2022, que “Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos”, grãos, farinhas e produtos à base de cereais deverão respeitar o limite máximo para a presença de micotoxinas. A Tabela 5 apresenta os limites máximos tolerados que foram estabelecidos para os produtos de cereais quanto à aflatoxina B1, aflatoxina B2, aflatoxina G1, aflatoxina G2, desoxinivalenol (DON), fumonisinas (B1 + B2), ocratoxina A, e zearalenona (BRASIL, 2022).

Tabela 5 - Limites máximos de micotoxinas – IN Nº 160 de 2022, da ANVISA.

MICOTOXINA	TIPOS DE ALIMENTOS	LIMITES ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
Aflatoxinas B1 + B2 + G1 + G2	Cereais e produtos de cereais, exceto milho e derivados, incluindo cevada maltada	5
	Milho, milho em grão inteiro, partido, amassado ou moído, farinhas ou sêmolas de milho	20
	Trigo integral, trigo para quibe, farinha de trigo integral, farelo de trigo	1250
Desoxinivalenol (DON)	Farinha de trigo, grão de cevada, cevada maltada, massas, crackers, biscoitos de água e sal, outros produtos de panificação, e outros cereais e produtos de cereais, exceto os de arroz e trigo integral	1000
	Trigo, milho e cevada em grãos para posterior processamento	2000
	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	200
	Arroz beneficiado e derivados	750
Fumonisina (B1 + B2)	Alimentos à base de milho para alimentação infantil (lactentes e criança de primeira infância)	200
	Farinha de milho, creme de milho, fubá, flocos, canjica, canjiquinha	1500
	Amido de milho e outros produtos à base de milho	1000
	Milho de pipoca	2000
Ocratoxina A	Milho em grão para posterior processamento	5000
	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	2
	Cereais e produtos de cereais, incluindo cevada maltada	10
	Cereais para posterior processamento, incluindo grão de cevada	20
Zearalenona	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	20
	Farinha de trigo, massas, <i>crackers</i> e produtos de panificação, cereais, exceto trigo e arroz e incluindo cevada maltada	100
	Arroz beneficiado e derivado	100
	Arroz integral	400

Farelo de Arroz	600
Milho pipoca, canjiquinha, canjica, produtos e subprodutos à base de milho	150
Milho em grão e trigo para posterior processamento	400
Trigo integral, farinha de trigo integral, farelo de trigo	200

Fonte: Adaptado de BRASIL (2022) e Bernardi et al. (2018).

De acordo com estudo realizado por Calori-Domingues et al. (2007), os resultados de contaminação com DON das amostras avaliadas, de acordo com sua procedência, estão apresentados na Tabela 6, na qual se pode verificar que as amostras de trigo nacional apresentaram maior contaminação com DON do que o trigo importado ($p \leq 0,05$). Do total de amostras do trigo nacional, 94% apresentaram contaminação com DON e 88% para o trigo importado. A variação dos resultados foi significativa, com valores de <90 a $4.573 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para o trigo nacional e <90 a $349 \mu\text{g.kg}^{-1}$ para o importado.

Tabela 6 - Contaminação com DON* ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) nas amostras de trigo nacional e importado**.

Procedência	Número Amostras Analisadas	Número Amostras Positivas	Contaminação DON ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
			Média	Mín	Máx
Nacional	50	47(94)	332 ^a	<90	4573
Importado	50	44 (88)	90 ^b	<90	349

*DON: desoxinivalenol; **Valores acompanhados por letras minúsculas distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Adaptado de Calori-Domingues et al. (2007).

3.4 Distribuição de DON e fungos toxigênicos nas frações de moagem e na farinha não reconstituída

Os processos físicos realizados durante a pós-colheita, como classificação, secagem, limpeza e despeliculização, podem ser muito eficientes para reduzir o teor de micotoxinas do grão antes da moagem (Andersson, 2011; Cheli et al., 2013). Estudos mostram que o processo de moagem não tem influência no teor de micotoxinas, embora as concentrações de micotoxinas possam ser redistribuídas e concentradas de acordo com as frações de moagem (Bullerman & Bianchini, 2007; Andersson, 2011; Cheli et al., 2013). Contudo, esta distribuição de micotoxinas é altamente variável, dependendo da solubilidade das micotoxinas (hidrofílico / hidrofóbico), do nível e tempo de contaminação fúngica e da metodologia de moagem (Cheli et al., 2013; Tibola et al., 2015).

Na moagem de trigo, Edwards et al. (2011) estudaram o efeito da distribuição de micotoxinas de *Fusarium* de trigo oriundo do Reino Unido. Entre 2004 e 2007, foram coletadas amostras comerciais de trigo em vários pontos do processo de moagem e analisados quanto à tricotecenos. Amostras contendo várias concentrações de micotoxinas foram coletadas em 2004 e 2005, processadas e o teor de micotoxinas quantificado nas diferentes frações da moagem. DON foi a micotoxina predominante e com maiores teores na fração do farelo. DON e nivalenol foram encontradas em maiores concentrações nas frações da farinha, e menores teores nas amostras de farelo das amostras obtidas dos lotes de 2004 em comparação com os de 2005. Isto pode ser consequência do elevado volume de chuvas durante a pré-colheita em 2004, resultando no movimento dessas micotoxinas para o interior de grãos, antes da colheita, devido ao DON ser altamente solúvel em água. Não houve diferença na distribuição de ZON (zearalenona) dentro de frações de moagem entre os dois anos. Para DON, maiores teores de contaminação no grão resultaram em maior proporção desta micotoxina nas frações da farinha, equivalente aos do grão limpo e com menores concentrações no farelo.

Tibola et al. (2015) estudaram a distribuição das micotoxinas de *Fusarium sp* de cada fração obtida do processo de moagem de trigo, utilizando lotes de trigo de 2013 oriundos do sul do Brasil, que foram artificialmente contaminados com gradiente crescente de micotoxinas durante as etapas de limpeza e pré-limpeza. O teor de micotoxinas de *Fusarium sp* foi

determinado por cromatografia (UHPLC-MS / MS). Nos níveis de gradiente mais baixo (<1000 mg kg⁻¹), a concentração de DON foi significativamente diferente no farelo em comparação com trigo moído e farinha. De acordo com estes autores, a moagem não pode ser utilizada unicamente como ferramenta eficaz para a redução de DON na farinha acabada, especialmente no trigo com maior nível de contaminação. A concentração de micotoxinas presente nas camadas de grãos pode ser devido ao crescimento fúngico no interior do grão, e não devido à difusão da toxina.

As etapas de processamento do milho não transgênico moído a seco em indústria processadora Brasileira foram estudados por Bordini et al. (2017), que observaram maiores níveis de fumonisina (B1 + B2) nas frações externas do grão de milho (germe e pericarpo), e redução dos níveis nas frações internas (endosperma, grãos e farinha de milho), para valor inferior ao máximo permitido pela legislação, conforme as Tabelas 7 e 8. De acordo com os resultados obtidos neste estudo, o processamento com moagem à seco utilizada por esta indústria mostrou ser um método de controle eficiente para fumonisina em produtos à base de milho destinados ao consumo humano.

Tabela 7 - Atividade de água (Aw) e média de contaminação de fumonisina B1, fumonisina B2 e fumonisina total (B1+B2) em grãos de milho e suas frações obtidas da indústria processadora de moagem a seco no lote 1 (2014) no Brasil*.

Amostra	N	Aw	Positivo (%)		Fumonisina B1 (µg.kg ⁻¹)	Fumonisina B2 (µg.kg ⁻¹)	Fumonisina B1+B2 (µg.kg ⁻¹)	Fator de distribuição
			FB1	FB2				
Grão milho	20	0,60 ^a	80	25	481,4±306,5	270,3±67,8	578,8±424,9 ^c	100
Gérmem	20	0,65 ^a	100	100	1279,3±235,7	524,2±114,4	1803,5±343,9 ^a	322
Pericarpo	20	0,56 ^a	75	25	941,1±349,2	336,1±212,6	1053,1±450,5 ^b	188
Endosperma	20	0,64 ^a	85	-	222,0±111,5	-	222,0±111,5 ^d	40
Farinha Milho	20	0,57 ^a	100	-	168,2±89,2	-	168,2±89,2 ^e	30
Grits	20	0,57 ^a	50	-	89,2±52,3	-	89,2±52,3 ^f	16

*Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste t (p<0,05).

Fator de distribuição foi baseado sobre a concentração de fumonisina (B1 + B2) em cada fração e a concentração inicial no grão de milho. Limite de detecção: FB1= 27,5 µg.kg⁻¹; FB2= 35,3 µg.kg⁻¹. Resultados expressos em média ± desvio padrão.

Fonte: Adaptado de Bordini et al. (2017).

Tabela 8 - Atividade de água (Aw) e contaminação por fumonisinias B1, B2 e total (B1+B2) em grãos de milho e suas frações obtidas da indústria processadora de moagem à seco no lote 2 (2015) no Brasil*.

Amostra	N	Aw	Positivo (%)		Fumonisina B1 (µg.kg ⁻¹)	Fumonisina B2 (µg.kg ⁻¹)	Fumonisina B1+B2 (µg.kg ⁻¹)	Fator de Distribuição
			FB1	FB2				
Grão milho	20	0,64 ^a	10	90	957,0±386,6	439,76±141,7	1308,8±583,9 ^c	100
Gérmem	20	0,72 ^a	100	100	2886,5±230,4	1182,5±196,1	4073,9±390,1 ^a	311
Pericarpo	20	0,75 ^a	100	90	2608,6±774,4	929,3±264,8	2861,8±1066 ^b	263
Endosperma	20	0,65 ^a	100	-	249,1±98,6	-	249,1±98,6 ^d	20
Farinha de milho	20	0,68 ^a	45	-	218,7±17,8	-	218,7±17,8 ^d	17
Grits	20	0,66 ^a	45	-	54,7±128,5	-	54,68±128,5 ^e	5,9

*Média seguida da mesma letra na mesma coluna não diferem significativamente através do teste t (p<0,05).

Fator de distribuição foi baseado sobre a concentração de fumonisina (B1 + B2) em cada fração e a concentração inicial no grão de milho. Limite de detecção: FB1= 27,5 µg.kg⁻¹; FB2= 35,3 µg.kg⁻¹. Fonte: Adaptado de Bordini et al. (2017).

4. Conclusão e Sugestões

Conclui-se que para obtenção de farinha integral de qualidade sanitária deve-se seguir alguns procedimentos de boas práticas desde a pré-colheita, pós-colheita, armazenamento dos grãos e processamento da farinha integral devido ao clima tropical do nosso país propício para o desenvolvimento de fungos toxigênicos.

Quanto ao processo de moagem fracionada (moinho de rolos) ou moagem inteira (moinho de pedras, martelo etc), estudos mostram que o tipo de moagem não interfere no teor de micotoxinas, influenciando apenas na redistribuição das micotoxinas na farinha integral.

A fração com maior teor de fungos e micotoxinas é a camada externa do trigo formada pelo farelo, desta forma a retirada da fina película externa pode ser uma alternativa sanitária, associada com etapas de pré-limpeza convencional.

Ao estabelecer práticas seguras de plantio, colheita e pós-colheita para grãos de cereais que deverão atender a legislação que estabelece limites de micotoxinas, esta poderá impulsionar que demais produtores de grãos para uso integral façam o mesmo, uma vez que poderá ocorrer contaminação cruzada quando usados num mesmo ambiente de produção.

Futuros estudos devem focar em métodos inovadores para redução de micotoxinas, incluindo tecnologias de descontaminação e práticas agrícolas sustentáveis. O uso de inteligência artificial para monitoramento em tempo real e análises de viabilidade econômica e ambiental também são promissores. Essas abordagens podem melhorar a segurança e sustentabilidade na produção de grãos integrais, beneficiando toda a cadeia produtiva.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES — código 001) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - GD: 141413/2019-0, PQ: 312660/2023-5 e 442256/2023-0)

Referências

- Alvarez-Jubete, L.; Wijngaard, H.; Arendt, E. K. & Gallagher, E. (2010). Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chemistry*, 119, 770–778.
- Andersson, J. (2011). *Whole grain wheat – effect of peeling and pearling on chemical composition, taste and colour*. Master Thesis: SLU – Swedish University of Agriculture.
- Arendt, E. K. & Bello, F. D. (2008). *Functional cereal products for those with gluten intolerance*. In: Hamaker, B. R. *Technology of Functional Cereal Products*. Elsevier, 446-475.
- Barbieri, D. (1996). *Doença celíaca*. In: Barbieri, D., Koda, Y. K., eds. *Doenças Gastroenterológicas em Pediatria*. Atheneu, São Paulo, 176-210.
- Bernardi, C. M. G.; Resende, D. O.; Albuquerque, A. C. S. & Tibola, C. (2018) *Micotoxinas no trigo*. São Paulo: Abitrito; Passo Fundo: Embrapa Trigo (Cartilha do agricultor).
- Bordini, J. G.; Ono, M. A.; Garcia, G. T.; Fazani, V. H. M.; Vizoni, E., Rodrigues, K. C. B.; Hirooka, E. Y. & Ono, E. Y. S. (2017) Impact of industrial dry-milling on fumonisin redistribution in non-transgenic corn in Brazil. *Food Chemistry*, 220, 438–443.
- Borges, J.; Bonomo, R.; De Paula, C. D.; Oliveira, L. & Cesário, M. (2010) Características físico-químicas, nutricionais e formas de consumo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Revista Temas Agrários*, 15(1), 9-23.
- Boudra, H.; Le Bars, P. & Le Bras, J. (1995) Thermostability of ochratoxin A in wheat under two moisture conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(3), 1156–1158.
- Brasil. (2010). *IN n° 38. Regulamento técnico de trigo*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).
- Brasil. (2011). *RDC n° 07. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).
- Brasil. (2021). *RDC n° 493. Requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).
- Brasil. (2022). *IN n° 160. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

- Bullerman, L. B. & Bianchini, A. (2007). Stability of mycotoxins during food processing. *International Journal of Food Microbiology*, 119, 140–146.
- Calori-Domingues, M. A.; Almeida, R. R.; Tomiwaka, M. M.; Gallo, C. R.; Gloria, E. M. & Dias, C. T. S. (2007). Ocorrência de desoxinivalenol em trigo nacional e importado utilizado no Brasil. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(1), 181-185.
- Carvajal, M. & Arroyo, G. (1997). Management of aflatoxin contaminated maize in Tarmaulipas, México. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1301-1305.
- Cheli, F.; Campagnoli, A. & Dell’Orto, V. (2013). Fungal populations and mycotoxins in silages: from occurrence to analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 183(1-2), 1-16.
- Costa, P. F. P. (2009). *Efeito da radiação gama e da radiação infravermelha na vida de prateleira e nas características tecnológicas da farinha de trigo integral e do pão de forma*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- Deng, X.; Cao, S. & Horn, A. L. (2021). Emerging Applications of Machine Learning in Food Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 513-538.
- Doblado-Maldonado, A. F., Pike, O. A., Sweley, J. C., & Rose, D. J. (2012). Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. *Journal of Cereal Science*, 56, 119-126.
- Edwards, S. G.; Dickin, E. T.; Macdonald, S.; Buttler, D.; Hazel, C. M.; Patel, S. & Scudamore, K. A. (2011). Distribution of Fusarium mycotoxins in UK wheat mill fractions. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(12), 1694-1704.
- FAO. (1997). *Micotoxina em alimentos e rações*. Food and Agriculture Organization (FAO).
- Fric, P.; Gabrovská, D. & Nevořal, J. (2011). Celiac disease, gluten - free diet, and oats. *Nutrition Review*, 69(2), 107-115.
- Garsed, K. & Scott, B. B. (2007). Can oats be taken in a gluten-free diet? A systematic review. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 42(2), 171-178.
- Gutkoski, L. C. & Pedó, I. (2000). *Aveia – composição química, valor nutricional e processamento*. São Paulo: Varela.
- Hamaker, B. R. (2008). *Technology of functional cereal products*. CRC Press: Boca Raton.
- Health Canada. (2013). *The Case of Whole Wheat Flour and Bread* http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/label-etiquet/claims-reclam/position_paper-enonce_position-eng.php#a2
- Honesey, R. C. (1994). *Principles of cereal science and technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Hussein, H. S. & Brasel, J. M. (2001). Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology*, 167, 101-134.
- Iamanaka, B. T. (2010). *Avaliação da microbiota de grãos de café e dos metabolitos fúngicos na qualidade da bebida*. 2010. 78p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Pesquisa Nacional de Saúde: percepção do estado de saúde, estilos de vida e doenças crônicas*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Jard, G.; Liboz, T.; Mathieu, F.; Guyonvarc’h, A. & Lebrhi, A. (2011). Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(1), 1590-1609.
- Kwiatkowski, A. & Alves, A. P. F. (2007). Importância da detecção e do controle de aflatoxinas em alimentos. *SaBios - Revista Saúde e Biologia*, 2(2), 45-54.
- Lamardo, L. C. A.; Navas, S. A. & Sabino, M. (2006) Desoxinivalenol (DON) em trigo e farinha de trigo comercializados na cidade de São Paulo. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 65(1), 32-35.
- Lazzari, F. A. (1997). *Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações*. (2. ed.). Curitiba: [s.n.].
- Liu, R. H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46, 207-219.
- Marcílio, R.; Amaya-Farfan, J.; Ciacco, C. F. & Spehar, C. R. (2003). Fracionamento do grão de *Amaranthus cruentus* brasileiro por moagem e suas características composicionais. *Food Science and Technology*, 23(3), 511–516.
- Misra, N. N.; Dixit, Y.; Al-Mallahi, A.; Bhullar, M. S.; Upadhyay, R. & Martynenko, A. (2020). IoT, big data and artificial intelligence in agriculture and food industry. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9), 6305-6324.
- Montenegro, F. & Clerici, M. T. P. S. (2020). *Redução de atividade de água e da carga microbiana na pós-colheita de trigo*. In: Tibola, C. S. & Fernandes, J. M. C. (Org.). *Micotoxinas no trigo: Estratégias de manejo para minimizar a contaminação*. 1ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 104-121.
- Okarter, N. & LIU, R. H. (2010). Health benefits of whole grain phytochemicals. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 50, 193–208.
- Pereira, M. L. & Chang, Y. K. (1993). Contaminantes do trigo e farinha e medidas de sanitização na indústria de moagem e panificação. *Higiene Alimentar*, 7(26), 20-29.
- Pereira, P. S. J. (2001). *Tecnologia de Moagem I*. SENAI/CE – CERTREM. Fortaleza.
- Queiroz, M. B. & Nabeshima, E. H. (2014). *Naturalidade e Autenticidade*. In: Queiroz, G. C., Rego, R. A., Jardim, D. C. P. (Eds.). *Brasil bakery e confectionery trends 2020*. Campinas: ITAL, 159-196.

- Scarton, M.; Ferreira, A. R.; Tagliapietra, B. L.; Behrens, J. H. & Clerici, M. T. P. S. (2024). Finding wholegrain pasta quality: what are the challenges and opportunities? *Food Science and Technology*, 44, e00342.
- Scussel, V. M. (2002). *Fungos e micotoxinas associados a grãos armazenados*. In: Lorini, I., Miike, L. H., Scussel, V. M. (Ed.). *Armazenagem de grãos*. Campinas: Instituto Bio Geneziz, 674-804.
- Serna-Saldivar, S. O. (2010). Cereal grains. *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes*, 1-40.
- Silva, L. R. & Vilela, D. M. (2019). Tecnologia de chá e seus processos: uma revisão. *Revista UNINGÁ Review*, 34(2), 39-50.
- Slavin, J. L.; Jacobs, D. & Marquart, L. (2000). Grain Processing and Nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(4), 309–326.
- Størsrud, S.; Hulthén, L. R. & Lenner, R. A. (2003). Celiac Disease and Gluten - Free Claims on Uncontaminated Oats Beneficial effects of oats in the gluten - free diet of adults with special reference to nutrient status, symptoms and subjective experiences. *British Journal of Nutrition*, 90(1), 101-107.
- Tibola, C. S.; Fernandes, J. M. C.; Guarienti, E. M. & Nicolau, M. (2015). Distribution of Fusarium mycotoxins in wheat milling process. *Food Control*, 53, 91-95.
- Tibola, C. S.; Lorini, I. & Miranda, M. Z. (2009). *Boas Práticas e Sistema APPCC na Pós-Colheita de Trigo*. EMBRAPA.
- Van der Fels-Klerx, H. J.; Olesen, J. E.; Naustvoll, L. J.; Friocourt, Y.; Mengelers, M. J. B. & Christensen, J. H. (2012). Climate change impacts on natural toxins in food production systems, exemplified by deoxynivalenol in wheat and diarrhetic shellfish toxins. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 29(10), 1647–1659.
- Visscher, T. L. S. & Seidell, J. C. (2001). The Public Health Impact of Obesity. *Annual Review of Public Health*, 22, 355-375.
- Wang, J.; Sufar, E. K.; Bernhoft, A.; Seal, C.; Rempelos, L.; Hasanaliyeva, G.; Zhao, B.; Iversen, P. O.; Baranski, M.; Volakakis, N. & Leifert, C. (2024). Mycotoxin contamination in organic and conventional cereal grain and products: A systematic literature review and meta-analysis. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 23, e13363.
- White, P. J. & Johnson, L. A. (2003). *Corn: chemistry and technology*. Ed. 2 Saint Paul: American Association of Cereal Chemists.
- Zhang, K.; Sun, J.; Fan, M.; Qian, H.; Ying, H.; Li, Y. & Wang, L. (2021). Functional ingredients present in whole-grain foods as therapeutic tools to counteract obesity: Effects on brown and white adipose tissues. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 513-526.