

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE AGRONOMIA

CURSO DE ZOOTECNIA

GABRIELE PONTIM

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CONTAMINAÇÕES INDIVIDUAIS E
CONJUNTAS POR MICOTOXINAS NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE
FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS ATRAVÉS DE REVISÃO SISTEMÁTICA**

Porto Alegre

2023

GABRIELE PONTIM

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CONTAMINAÇÕES INDIVIDUAIS E
CONJUNTAS POR MICOTOXINAS NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE
FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS ATRAVÉS DE REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado como
requisito para obtenção de Grau
de Zootecnista, Faculdade de
Agronomia, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Ines Andretta

Coorientador: Caroline
Romeiro de Oliveira

Porto Alegre

2023

GABRIELE PONTIM

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS CONTAMINAÇÕES INDIVIDUAIS E
CONJUNTAS POR MICOTOXINAS NO DESEMPENHO PRODUTIVO DE
FRANGOS DE CORTE E SUÍNOS ATRAVÉS DE REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção de
Grau de Zootecnista, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande
do Sul.

Data de aprovação: __/__/____

Orientadora

Caroline Romeiro de Oliveira, Mestranda UFRGS

Coorientadora

Alícia Zem Fraga, Dra UFRGS

Membro da banca

Alexandre Bonadiman Mariani, Msc. - UFRGS

Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Dou início agradecendo a Deus e a São Francisco de Assis por me guiar nesta jornada e possibilitar a realização de mais um sonho em minha vida.

Ao meu pai Airton Vicente Pontim (in memorian) por ser minha inspiração e motivação para seguir em busca de meus objetivos, por todas as conversas e abdições para minha formação. A minha mãe Marlise Pontim por todo apoio, incentivo, cuidado e a convicção de que tudo iria dar certo.

A minha irmã de sangue e alma Luana Pontin por todo apoio, conversas, conselhos e por ser meu exemplo de garra e determinação.

Ao meu cunhado Samuel por todo o carinho e disposição para ajudar independentemente da situação.

Ao restante da minha família Pontim, meu irmão Vinícios, cunhada Samanta, Sobrinhos Luiza e Vicente, minha nona Odilza e nono Dolvino (in memorian) por cada um em sua individualidade estar presente e ter grande importância em minha vida.

Ao meu namorado e parceiro de vida Guilherme Luís Picolli por estar ao meu lado nos momentos bons e ruins, por me compreender e auxiliar com todo seu amor.

Também a sua família por me acolher e ajudar em todos os momentos.

Agradeço a minha coorientadora Caroline Romeiro de Oliveira por me auxiliar no desenvolvimento de todo esse trabalho e tornar este processo mais leve e de muito aprendizado.

A minha orientadora Ines Andretta por ser uma inspiração como mulher e profissional, além de estar sempre disposta a ajudar e ter uma alegria contagiante que me fez ter certeza que estava no caminho certo.

A todas as pessoas e profissionais que contribuíram para minha formação, agradeço.

“Comece fazendo o que é
necessário, depois o que é possível,
e de repente você estará fazendo o
impossível.”

São Francisco de Assis

RESUMO

A cadeia produtiva de frangos de corte e de suínos se destacam na produção de proteína animal de alta qualidade, no entanto, seus índices zootécnicos são afetados pela contaminação por micotoxinas. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da contaminação individual e conjunta de micotoxinas sobre o desempenho produtivo de frangos de corte e suínos através de uma revisão sistemática. Foram desenvolvidos dois bancos de dados, um para cada espécie animal avaliado. O banco de dados de frangos de corte utilizou resultados de 11 artigos científicos, resultando em 5620 animais avaliados, distribuídos em 108 tratamentos. Já, o banco de dados de suínos utilizou os resultados de 5 artigos científicos, que incluíram na avaliação 276 animais distribuídos em 34 tratamentos. Utilizando os resultados dos experimentos da base de dados foram calculadas as variações (em porcentagem) dos efeitos no desempenho dos animais ocasionados pelas micotoxinas individualmente e em conjunto (contaminação conjunta) em relação ao tratamento controle (sem contaminação). Com a seleção dos artigos percebeu-se uma carência de trabalhos realizados considerando a contaminação conjunta, fato que, deve ser modificado devido à incidência desse tipo de contaminação. Portanto, conclui-se que a contaminação conjunta de micotoxinas afetou negativamente os índices zootécnicos de frangos e suínos com maior intensidade do que as contaminações individuais.

Palavras-chave: ocratoxina, fumonisina, co-contaminação.

ABSTRACT

The production chain of broilers and pigs stand out in the production of high-quality animal protein, however, their zootechnical indices are affected by mycotoxin contamination. This work was developed with the objective of evaluating the effect of individual and joint contamination of mycotoxins on the productive performance of broilers and pigs through a systematic review. Two databases were developed, one for each animal species evaluated. The broiler database used results from 11 scientific articles, resulting in 5620 animals evaluated, distributed in 108 treatments. The pig database used the results of 5 scientific articles, which included in the evaluation 276 animals distributed in 34 treatments. Using the results of the experiments of the database, the variations (in percentage) of the effects on the performance of the animals caused by the mycotoxins individually and together (joint contamination) in relation to the control treatment (without contamination) were calculated. With the selection of the articles, it was noticed a lack of studies carried out considering the joint contamination, a fact that should be modified due to the incidence of this type of contamination. Therefore, it is concluded that the joint contamination of mycotoxins negatively affected the zootechnical indices of chickens and pigs with greater intensity than the individual contaminations.

Keywords: ochratoxin, fumonisin, co-contamination.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Cenário geral sobre micotoxinas	12
2.2 Impacto das micotoxinas na alimentação animal	13
2.3 Principais micotoxinas	14
2.3.1 Aflatoxinas	14
2.3.2 Tricotecenos	15
2.3.3 Ocratoxinas	17
2.3.4 Fumonisinias	17
2.3.5 Zearalenona	19
2.4 Controle das micotoxinas	20
2.5 Classificação da interação das micotoxinas	21
2.6 Revisão sistemática	22
3. OBJETIVO	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÕES	31
7. REFERÊNCIAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma PRISMA da base de dados de frangos de corte que descreve a inclusão e exclusão de estudos.....	25
Figura 2. Fluxograma PRISMA da base de dados de suínos que descreve a inclusão e exclusão de estudos.....	26
Figura 3. Origem dos estudos utilizados para construção da base de dados de frangos de corte.	27
Figura 4. Origem dos estudos utilizados para construção da base de dados de suínos.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista das publicações utilizadas na base de dados de frangos de corte...26	26
Tabela 2. Lista das publicações utilizadas na base de dados de suínos26	26
Tabela 3. Resultados dos efeitos das micotoxinas calculados em porcentagem (%) para base de dados de frangos de corte.28	28
Tabela 4. Resultados dos efeitos das micotoxinas calculados em porcentagem (%) para base de dados de suínos.30	30

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura e a avicultura de corte caracterizam-se como setores com relevância internacional, visto que, a carne suína e a carne de frango são as proteínas animais mais consumidas mundialmente. O Brasil é destaque nesses setores, segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2022), é o quarto maior produtor e exportador de carne suína do mundo, além de ser o maior exportador e o segundo maior produtor de carne de frango do mundo.

Os setores em questão utilizam tecnologias recentes e inovadoras para garantir que os animais possam expressar seu potencial genético máximo e alcançar índices produtivos de excelência. Desta forma, qualquer fator que interfira no desempenho zootécnico deve ser identificado, em virtude das reduções da produtividade do sistema e no aumento dos impactos ambientais que estes causam. Nestas situações, somam-se esforços para sanar os causadores destes prejuízos

Dentre os fatores que podem interferir na saúde e desempenho, pode-se citar a intoxicação pelo consumo de alimentos contaminados por micotoxinas. As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por fungos filamentosos, que apresentam grande diversidade de estruturas e propriedades tóxicas para os animais (KIPPER et al., 2020).

O desenvolvimento desses fungos é facilitado em climas tropicais e subtropicais como o do Brasil, devido as condições favoráveis de temperatura e umidade (DILKIN, 2002). Desta forma, é importante que os setores avícolas e suínícolas brasileiros se atentem aos níveis de contaminação dos ingredientes que compõem as dietas dos animais. Essas toxinas geram diversos efeitos deletérios aos animais, como a redução da produtividade, maior incidência de doenças devido a imunossupressão, danos aos órgãos vitais, piora na capacidade reprodutiva e, em casos extremos, a morte (BHAT et al., 2010).

Além disso, grande parte dos fungos possuem a capacidade de produzir múltiplas micotoxinas em diversos alimentos, e a mistura de diferentes matérias primas é uma atividade corriqueira para a produção de ração animal, gerando uma probabilidade maior de exposição a um conjunto de micotoxinas (GRENIER & OSWALD, 2011). Apesar disso, o conhecimento dos efeitos de micotoxinas dentro de contextos de contaminações múltiplas ainda é bastante limitado. Neste contexto, o presente trabalho visa quantificar o efeito da contaminação conjunta de micotoxinas sobre o desempenho produtivo de frangos de corte e suínos através de revisão sistemática.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cenário geral sobre micotoxinas

As micotoxinas são definidas como metabólitos secundários de baixo peso molecular, produzidos por fungos filamentosos, que mesmo em baixas concentrações podem ser tóxicos e comprometer a saúde de vertebrados (BENNETT & KLICH, 2003). A palavra micotoxina possui origem em duas palavras, “mukes” que se refere a “fungos” do grego e “toxicum” que se refere a “veneno” do latim (BHAT et al., 2010).

A produção de micotoxinas envolve o metabolismo secundário, que se diferencia do metabolismo primário devido à natureza aleatória de sua ativação, diversidade de compostos sintetizados e especificidade de cepas envolvidas (YIANNIKOURIS & JOUANY, 2002). As razões pelas quais os fungos produzem micotoxinas não são completamente elucidadas, mas se reconhece que o metabolismo secundário não está diretamente relacionado ao seu desenvolvimento ou sobrevivência (ANDRETTA, 2011).

Esses metabólitos secundários apresentam grande diversidade em suas estruturas químicas, toxicidade, origem biossintética e efeitos biológicos, tornando-se de difícil classificação (BENNETT & KLICH, 2003). Pode-se utilizar alguns critérios para classificá-los, como: fungo produtor (toxinas *Fusarium*, toxinas *Aspergillus*, toxinas *Penicillium*), órgão ou sistema afetado (hepatotoxinas, nefrotoxinas, neurotoxinas, imunotoxinas) e estrutura química (ANDRETTA, 2011).

As micotoxinas têm sido registradas há muitos anos, com alusões à sua ocorrência até mesmo na bíblia (SCHOENTAL, 1984). No entanto, maiores quantidades de pesquisa e descobertas ocorreram a partir de 1960, quando um incidente com aflatoxinas ocasionou a morte de mais 100.000 perus na Grã-Bretanha (YIANNIKOURIS & JOUANY, 2002).

Diversas culturas, inclusive os cereais, estão suscetíveis a contaminação por fungos, podendo ocorrer no campo e armazenamento (KUIPER-GOODMAN, 2004). Os principais fungos que acometem os alimentos pertencem aos gêneros: *Aspergillus*, *Fusarium* e *Penicillium* (PITT, 2000). A simples ocorrência de fungos em grãos pode ocasionar diversos efeitos indesejados que geram prejuízos, como a descoloração e aquecimento, perdas no valor nutricional, produção de odores desagradáveis, redução da qualidade da moagem e a contaminação por micotoxinas (MAGAN et al., 2003).

Os fungos do gênero *Fusarium* são conhecidos por gerar micotoxinas antes ou imediatamente após a colheita, já os fungos do gênero *Aspergillus* e *Penicillium* são

associados a produção de micotoxinas durante a secagem e armazenamento (PITT, 2000). As condições de crescimento dos gêneros de fungos é distinta, sendo que os *Aspergillus* e *Penicillium* podem crescer em baixa atividade de água (A_w) e temperaturas mais elevadas, em comparação aos *Fusarium* que necessitam de maior atividade de água e temperaturas mais baixas (BHAT et al., 2010).

Um estudo realizado em 100 países analisou a ocorrência de diversas micotoxinas em amostras de rações prontas e matérias-primas de ração, coletadas durante um período de 10 anos, constatando que 88% estavam contaminadas com pelo menos uma micotoxina (DORNINGER et al., 2019). Destacando assim a relevância do estudo dos efeitos ocasionados pela ocorrência de micotoxinas.

2.2 Impacto das micotoxinas na alimentação animal

Devido à alta incidência de contaminação por micotoxinas em produtos destinados a alimentação animal torna-se difícil a manutenção de índices zootécnicos satisfatórios (ANDRETTA, 2011). A gravidade dos efeitos ocasionados pela ingestão de micotoxinas depende de diversos fatores, como: toxicidade da micotoxina, dose ingerida, idade e estado nutricional do indivíduo (BHAT et al, 2010).

As manifestações da ingestão de micotoxinas podem ser agudas, quando os indivíduos consomem doses moderadas a altas e apresentam quadros clínicos característicos (DILKIN, 2002). E crônicas, que são mais frequentes, com o consumo de doses moderadas a baixas e os animais apresentam queda no desempenho produtivo (DILKIN, 2002).

A ingestão de micotoxinas pelos animais podem gerar diversos efeitos nocivos, como redução da produtividade, imunossupressão e conseqüente maior incidência de doenças, danos à órgãos vitais, interferência na capacidade reprodutiva, e em casos extremos pode ocasionar a mortalidade de animais (BHAT et al., 2010).

Para compreender melhor o complexo desafio que a contaminação por micotoxinas representa é essencial quantificar seus impactos prejudiciais, bem como seus efeitos na eficiência da conversão dos ingredientes da dieta em produtos alimentícios (KIPPER et al., 2020)

2.3 Principais micotoxinas

2.3.1 Aflatoxinas

São conhecidos aproximadamente 18 compostos que são designados como aflatoxinas, produzidos em uma ampla faixa de temperatura (12 a 42°C) com temperatura ideal de 28 a 30°C (LUO et al., 2018). Essas toxinas são produzidas por espécies de fungos do gênero *Aspergillus*, sendo que os principais produtores são *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* (MURUGESAN et al., 2015). As principais aflatoxinas conhecidas são denominadas AFB₁, AFB₂, AFG₁ e AFG₂, sendo que as letras “B” e “G” se referem as cores fluorescentes produzidas pelos compostos sob luz ultravioleta (UV), azul e verde respectivamente, em placas de cromatografia (PITT, 2000).

A descoberta das aflatoxinas ocorreu devido a um estudo intenso que foi impulsionado por uma grande mortalidade de perus na Grã-Bretanha, devido ao consumo de torta de amendoim contaminada proveniente do Brasil (SANTURIO, 2000). As aflatoxinas diferem uma das outras, sendo a que apresenta maior efeito tóxico é a AFB₁, seguida pelas AFG₁, AFB₂ e AFG₂ (GERMANO & OLIVEIRA, 1997). A biotransformação da aflatoxina pelo organismo de diversas espécies animais gera a produção de AFLM₁ e AFLM₂ (SANTURIO, 2000).

Algumas medidas podem auxiliar a minimizar o efeito deletérios das aflatoxinas, como: prevenção e/ou diminuição da contaminação do alimento, detoxificação do alimento e o impedimento da sua absorção pelo trato digestivo dos animais (CARÃO et al., 2014). No entanto, essas toxinas são frequentemente encontradas em alimentos utilizados na produção de ração (MURUGESAN et al., 2015).

2.3.1.1 Toxicologia em aves

Uma das causas da alta toxicidade das aflatoxinas em aves é a rápida absorção pelo seu trato gastrointestinal (SANTURIO, 2000). Imediatamente após a absorção as aflatoxinas podem ser ligadas de forma reversível à albumina e, em menor escala a outras proteínas séricas, espalhando-se pelos tecidos, principalmente o fígado (SANTURIO, 2000).

Ainda segundo Santurio (2000), após depositadas no fígado as aflatoxinas são biotransformadas pelo sistema microssomal hepático em metabolitos tóxicos que conseguem se ligar de forma covalente aos constituintes intracelulares, como DNA e RNA, alterando a síntese de proteínas no tecido hepático.

Uma ferramenta eficaz para detecção de aflatoxicose é a análise clínica do soro sanguíneo animal, quantificando as enzimas hepáticas e proteínas séricas (MINAFRA et al., 2018). Os valores elevados de proteína e reduzidos das enzimas caracterizam um indicativo de intoxicação (MINAFRA et al., 2018).

Alguns dos efeitos potenciais das aflatoxinas são doenças hepáticas agudas ou crônicas, também são consideradas carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas (LUO et al., 2018). A primeira alteração devido a aflatoxicose é a alteração do tamanho de alguns órgãos internos, sendo que ocorre o aumento do fígado, rins e baço, e a diminuição do timo e bursa de Fabricius (TESSARI & CARDOSO, 2012). Além disso, ocorre a alteração na textura e coloração dos órgãos, como o fígado que pode apresentar coloração amarela e textura friável com grande infiltração de gordura (SANTURIO, 2000).

Uma das características marcantes dessa toxina em aves é a má absorção dos alimentos, visualizada pela presença de partículas de ração mal digeridas na excreta desses animais (SANTURIO, 2000). Desta forma, acarreta piora dos índices zootécnicos e aumenta os custos de produção.

2.3.1.2 Toxicologia em suínos

Em suínos, os sinais clínicos da aflatoxicose aguda são redução do apetite, presença de sangue nas fezes, tremores musculares, falta de coordenação motora, hipertermia, podendo evoluir para o óbito (DILKIN, 2002). Já a intoxicação crônica gera a redução do ganho de peso, piora na conversão alimentar, redução do apetite e diarreias (DILKIN, 2002).

2.3.2 Tricotecenos

As toxinas do grupo dos tricotecenos são produzidas por diversos gêneros de fungos, principalmente pelo gênero *Fusarium* (MINAFRA et al., 2018). São conhecidas aproximadamente 180 toxinas pertencentes a este grupo, possuem distribuição cosmopolita e alta incidência em culturas como: trigo, milho, cevada e aveia (ANDRETTA, 2011).

Os tricotecenos são divididos em dois grandes grupos, os macrocíclicos e os não-macrocíclicos, sendo que o segundo grupo ainda é classificado em tipos A, B, C e D (ANDRETTA, 2011). Apenas alguns representantes do grupo dos tricotecenos possuem relevância econômica no Brasil, o deoxinivalenol, também denominado vomitoxina, e a toxina T-2 são os principais (DILKIN, 2002)

Ressalta-se que geralmente tricotecenos e zearalenonas são produzidos por *Fusarium* em temperaturas inferiores a 15°C (SANTURIO, 2000). Assim, deve-se redobrar os cuidados com os ingredientes produzidos em regiões em que o clima beneficie o desenvolvimento dessas toxinas.

2.3.2.1 Toxicologia em aves

Os tecidos mais suscetíveis a essas toxinas são aqueles que possuem alta taxa de renovação, como: trato gastrointestinal, pele, sistema linfático e imunológico e as células sanguíneas (SANTIN et al., 2001). Considera-se que as aves conseguem tolerar concentrações relativamente altas de deoxinivalenol na dieta e menores em relação a toxina T-2 (SANTURIO, 2000).

A toxina T-2 ocasiona a redução acentuada do consumo e ganho de peso, em casos severos gera distúrbios nervosos e empenamento irregular (MINAFRA et al., 2018).

2.3.2.2 Toxicologia em suínos

Os tricotecenos inibem a síntese de ácidos nucleicos e proteínas (SOUZA, 2003). Além disso, possuem associação com hemorragias, são imunossupressores, acarretam a recusa de alimentos, redução na conversão alimentar, vômito e diarreia (DILKIN, 2002). Os suínos apresentam alta sensibilidade aos tricotecenos (DILKIN, 2002).

Os sintomas da toxicidade do deoxinivalenol incluem vômito e recusa do alimento, o que reduz os efeitos deletérios que a persistência do consumo poderia acarretar (SOUZA, 2003). As toxinas T-2 geram lesões orais características, com a presença de placas caseosas (SOUZA, 2003).

2.3.3 Ocratoxinas

As ocratoxinas são toxinas produzidas por fungos do gênero *Penicillium* e *Aspergillus*, que ocorrem geralmente durante o armazenamento (MARQUARDT & FROHLICH, 1992). A incidência dessas toxinas no hemisfério sul é mais baixa do que a relatada no hemisfério norte, com índices de contaminação 10 vezes superiores (DILKIN, 2002). As ocratoxinas podem estar presentes em amostras de aveia, cevada, trigo e milho (ANDRETTA, 2011).

Foram identificadas diversas formas da ocratoxina, sendo a A e B as mais relevantes (ANDRETTA, 2011). A absorção dessas toxinas é por difusão passiva, facilitada em ambientes com pH baixo como o estômago dos animais (OLIVEIRA et al., 2015). Além de que, possuem afinidade com as proteínas séricas, especialmente com a albumina (OLIVEIRA et al., 2015). Devido a ligação das ocratoxinas à albumina e a reciclagem na bile e rins, a meia-vida da toxina no organismo animal é longa (MARQUARDT & FROHLICH, 1992).

2.3.3.1 Toxicologia em aves

Os efeitos deletérios ao organismo animal são atribuídos principalmente ao detrimento do metabolismo das proteínas (BORDINI et al., 2013). O principal órgão-alvo são os rins, o que fica evidente pelas alterações funcionais e morfológicas (POHLAND et al., 1992). Nas aves, ocorre a redução do desempenho, imunossupressão, patologia renal, anemia, aumento do peso dos órgãos e mortalidade (OLIVEIRA et al., 2015).

2.3.3.2 Toxicologia em suínos

Nos suínos, os sintomas observados pela intoxicação por ocratoxinas são a redução do ganho de peso, polidipsia, poliúria e lesões renais (DILKIN, 2002). A concentração detectável no sangue e tecidos depende de condições como espécie animal, dose administrada, composição da alimentação e estado de saúde (BORDINI et al., 2013).

2.3.4 Fumonisinias

A descoberta das toxinas do grupo das fumonisinias foi relatada em 1988 (OLIVEIRA et al., 2015). Essas toxinas são produzidas por fungos do gênero *Fusarium*

morfologicamente relacionados, com destaque para *Fusarium verticillioides* ou *Fusarium moniliforme* e *Fusarium proliferatum*(LINO et al., 2007).

Foram caracterizados 28 análogos de fumonisinas que são separados em quatro grupos principais denominados A, B, C e P (RHEEDER et al., 2002). As fumonisinas da série B são as mais tóxicas e abundantes na natureza (ABBAS et al., 1998). A toxina B1 é a toxina mais abundante e tóxica do grupo, representando 70% da concentração total de fumonisinas em rações contaminadas naturalmente (ANDRETTA, 2011).

As fumonisinas são contaminantes naturais dos cereais, principalmente o milho e seus subprodutos, aspecto que merece atenção devido sua vasta utilização na alimentação animal (DILKIN, 2002). Essas toxinas são produzidas nos grãos especialmente no período de pré-colheita, quando há condições de alta umidade e temperaturas amenas (ANDRETTA, 2011). Esses compostos são fortemente polares, solúveis em água e insolúveis em solventes orgânicos (POZZI et al., 2002).

As fumonisinas são estruturalmente similares aos precursores dos esfingolipídeos, que são lipídeos de membrana com função na regulação celular (MINAMI et al., 2004). O mecanismo de ação dessas toxinas no organismo animal está relacionado ao bloqueio da síntese dos esfingolipídeos, composto com importância para a integridade da membrana celular e transporte iônico através das células (SANTURIO, 2000). Esse bloqueio ocorre pela inibição da ceramida sintase, que é uma enzima importante na via de biossíntese dos esfingolipídeos (ABBAS et al., 1998).

Em parte, a toxicidade das fumonisinas pode ser relacionada a redução dos esfingolipídeos e acúmulo dos intermediários bioativos (MINAMI et al., 2004). Os esfingolipídeos são encontrados em grandes quantidades no cérebro e tecido nervoso (SANTIN et al., 2001).

2.3.4.1 Toxicologia em aves

Os efeitos tóxicos que podem ser observados em frangos de corte devido ao consumo de dietas contaminadas por fumonisinas, incluem: diminuição significativa do ganho de peso, piora da conversão alimentar, aumento no peso dos rins e fígado e aumento da concentração de hemoglobina (SANTURIO, 2000).

2.3.4.2 Toxicologia em suínos

Os suínos são altamente sensíveis a contaminação por fumonisinas (DILKIN, 2002). A principal alteração ocasionada na espécie é o edema pulmonar, sendo observados sinais clínicos de desconforto respiratório e cianose nas pontas das orelhas (OLIVEIRA et al., 2015).

2.3.5 Zearalenona

As zearalenonas são metabólitos secundários produzidos por fungos do gênero *Fusarium*, dentre eles estão: *Fusarium culmorum*, *Fusarium equisetii* e *Fusarium crookwellense*, sendo que o principal fungo produtor é o *Fusarium graminearum* (OLIVEIRA et al., 2015)

A ocorrência dessas toxinas é relatada em praticamente todos os cereais, com destaque para as culturas de inverno (DILKIN, 2002). Dentre os alimentos que são naturalmente infectadas estão: a cevada, o milho, o sorgo, a aveia e as rações elaboradas com a utilização desses ingredientes (DILKIN, 2002).

A produção das zearalenonas nos cereais geralmente acontece em períodos pré-colheita, porém há casos de produção pós-colheita em condições em que os grãos colhidos não forem tratados e secos de maneira correta (MAIA et al., 2021).

2.3.5.1 Toxicologia em aves

As aves apresentam maior resistência as zearalenonas, se comparadas as outras espécies (BÜNZEN & HAESE, 2006). Porém, em maiores concentrações podem ocasionar piora do desempenho produtivo e prolapso de cloaca (BÜNZEN & HAESE, 2006).

Considerando os níveis de contaminação normalmente encontrados em rações comerciais, não ocorrem alterações no consumo alimentar, ganho de peso, nos parâmetros bioquímicos e hematológicos do sangue, aspecto micro e macroscópico dos tecidos e comportamento das aves (SANTURIO, 2000).

Apesar das implicações dessas toxinas não gerarem efeitos preocupantes no desempenho produtivo das aves, alguns países importadores de carne de frango estão em alerta, devido aos resíduos da zearalenona na carne, que em determinadas concentrações podem gerar efeitos anabolizantes em humanos e outros mamíferos (SANTURIO, 2000).

2.3.5.2 Toxicologia em suínos

Nos suínos a zearalenona gera um estímulo nos receptores estrogênicos citoplasmáticos, ocasionando o aumento da síntese proteica no aparelho reprodutor (DILKIN, 2002). Desta forma, ocasiona alterações no sistema reprodutivo. Dentre elas, pode-se citar: pseudogestação, vulvovaginite, leitões fracos e natimortos, redução na taxa de concepção e feminização de machos jovens (DILKIN, 2002).

2.4 Controle das micotoxinas

As micotoxinas são um problema mundialmente difundido para as commodities agrícolas, sendo que as condições inadequadas de colheita, secagem, embalagem, armazenamento e de transporte podem favorecer o seu desenvolvimento (BHAT et al, 2010). As opções mais eficazes para prevenir a produção de micotoxinas são as boas práticas agrícolas e de fabricação (LUO et al, 2018).

As boas práticas agrícolas (GAP) são primordiais para manter os níveis de micotoxinas os mais baixos possíveis, dentre as principais atividades estão: implementação de programa de rotação de culturas, realização de análises para verificar a necessidade de correção do solo, uso adequado de inseticidas e fungicidas para evitar danos as plantas, controle de ervas daninhas (ALBERTS et al., 2017).

No período pós-colheita deve-se adotar algumas estratégias para reduzir a ocorrência das micotoxinas, pode-se citar a colheita com baixo teor de umidade e maturação adequada, equipamentos agrícolas limpos e funcionando adequadamente, recipientes e veículos para transporte da safra limpos, instalações de secagem e armazenamento limpas, secas, livres de insetos e crescimento visível de fungos, secagem dos grãos até umidade adequada para o armazenamento, limpeza e separação de matérias estranhas e grãos danificados, armazenamento em estruturas secas e bem ventiladas com proteção contra a entrada de água, animais nocivos, passarinhos e flutuações extremas de temperatura (ALBERTS et al., 2017).

Quando a contaminação já ocorreu devem ser empregados procedimentos para mitigação dos efeitos tóxicos no pós-colheita (LUO et al., 2018). Isso pode ser realizado através de métodos físicos que incluem procedimentos como triagem e separação, imersão e lavagem, irradiação, filtragem e adsorção (LUO et al., 2018).

Um dos procedimentos amplamente utilizados pela indústria avícola é a adsorção através da utilização de adsorventes, que são materiais inertes sem

princípios nutricionais que se aderem à superfície das micotoxinas não permitindo que o organismo animal realize a sua absorção, com conseqüente excreção (MAIA et al., 2021). Os adsorventes podem ser classificados como inorgânicos que possuem uma maior especificidade e orgânicos que adsorvem uma maior variedade de micotoxinas (MAIA et al., 2021). Os níveis de inclusão de adsorventes na dieta são determinados pela capacidade de ligação do adsorvente utilizado com as micotoxinas e principalmente pelo grau de contaminação do alimento (BRETAS, 2018).

Métodos químicos também podem ser utilizados no controle das micotoxinas, dentre os agentes adequados para este propósito estão: bases como a amônia e óxido hidratado, agentes oxidantes como a água oxigenada e o ozônio, ácidos orgânicos como o ácido fórmico e propiônico, dentre outros (LUO et al, 2018).

Os métodos biológicos também são uma opção para o controle das micotoxinas, que consiste na utilização de uma ampla gama de bactérias, bolores e leveduras que apresentam capacidade de biodegradar esses compostos (LUO et al, 2018). Há ainda outros métodos com o mesmo propósito de descontaminação, mas para que qualquer método seja amplamente utilizado ele deve ser eficiente e promover a segurança alimentar e ambiental (LUO et al, 2018).

2.5 Classificação da interação das micotoxinas

A contaminação conjunta por diferentes micotoxinas é um cenário corriqueiro nas rações e matérias primas. Portanto, compreender o efeito ocasionado é de extrema relevância para os sistemas produtivos.

A classificação das interações é realizada dentro de quatro categorias, sendo elas: sinérgica, aditiva, menos que aditiva e antagônica. O sinergismo e o antagonismo consistem em categorias complexas, desta forma, a primeira foi subdividida em 3 tipos e a segunda em 2 tipos.

Pode-se utilizar as seguintes definições de categorias preconizadas por Grenier & Oswald, 2011:

- Sinergismo tipo 1: compila os efeitos onde a combinação das micotoxinas foi maior que o esperado pela soma dos efeitos individuais. Também, engloba os experimentos que a micotoxina individualmente não apresentou nenhum efeito, mas a contaminação conjunta apresentou efeito superior do observado para a toxina individual (potencialização P).

- Sinergismo tipo 2: ocorre quando o efeito das toxinas individualmente é oposto, mas a contaminação conjunta gera um efeito maior que o individual, ou seja, um efeito exacerbado.
- Sinergismo tipo 3: designa-se para casos onde os efeitos das micotoxinas são semelhantes, porém o tratamento combinado induz um efeito oposto.
- Aditivo: compreende os casos onde o efeito da contaminação conjunta pode ser explicado pela adição dos efeitos individuais.
- Menos que aditivo: ocorre quando o efeito da combinação de micotoxinas reflete o efeito de apenas uma toxina, sem o efeito adicional da outra.
- Antagonismo tipo 1: compreende os casos em que as micotoxinas individualmente geram efeitos semelhantes, mas a contaminação conjunta gera um efeito menor. Desta forma, a combinação conjunta gerou a redução do efeito da toxina mais potente.
- Antagonismo tipo 2: se designa para casos onde a contaminação individual não induz os mesmos efeitos e o tratamento combinado gera um efeito intermediário entre as micotoxinas.

2.6 Revisão sistemática

A produção científica está crescendo anualmente nas mais diversas áreas do conhecimento, desta forma, as revisões sistemáticas têm se tornado cada vez mais pertinentes para conglomerar as referências disponíveis (DONATO & DONATO, 2019).

As revisões sistemáticas consistem em um processo que visa localizar os trabalhos relevantes realizados, que envolvem as questões de interesse, com uma apresentação sistemática das mesmas e seus resultados de pesquisa (SIDDAWAY et al., 2019).

As revisões sistemáticas buscam reduzir o viés da publicação e garantir a reprodutibilidade por outros autores, por isso, apresenta detalhadamente as bases de dados consultadas, as estratégias de busca, o processo de seleção dos artigos, os critérios de inclusão e exclusão das publicações e o processo de análise de cada artigo (GALVÃO & RICARTE, 2020).

Além disso, as revisões sistemáticas são consideradas como evidência científica de alta qualidade e não requerem grandes montantes de recursos para sua realização, se comparado as investigações primárias (DONATO & DONATO, 2019).

3. OBJETIVO

Avaliar o efeito da contaminação individual e conjunta de micotoxinas sobre o desempenho produtivo de frangos de corte e suínos através de uma revisão sistemática.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Consultou-se diversas plataformas eletrônicas, como PubMed, Scopus e Web of Science, para obter artigos científicos que abordam a influência de micotoxinas no desempenho produtivo de frangos de corte e suínos. Utilizou-se uma chave de busca para cada banco de dados, desenvolvida através do método "PICO", onde "P" representa a população, "I" o interesse e "Co" o contexto. A combinação de palavras resultante para cada estudo foram:

Base de dados de frangos de corte:

(chicken OR broiler OR poultry OR chicks)*
 AND
(mycotoxin OR aflatoxin* OR don OR zearalenone*
OR fumonisin OR t2 OR deoxynivalenol OR ocratoxin*)*
 AND
(performance OR "body weight" OR "average daily gain" OR "weight gain" OR
"average daily feed intake" OR "feed intake" OR "feed consumption" OR "feed
conversion" OR "feed to gain" OR "feed: gain"
OR "feed efficiency" OR "gain to feed" OR "gain: feed"
OR ADFI OR ADG OR BW OR FCR)

Base de dados de suínos:

(pig OR pigs OR swine OR piglet)*
 AND
(mycotoxi OR aflatoxin* OR don OR zearalenone*
OR fumonisin OR t2 OR deoxynivalenol OR ocratoxin*)*
 AND
(performance OR "body weight" OR "average daily gain" OR "weight gain"

OR "average daily feed intake" OR "feed intake" OR "feed consumption"
OR "feed conversion" OR "feed to gain" OR "feed : gain"
OR "feed efficiency" OR "gain to feed" OR "gain : feed"
OR ADFI OR ADG OR BW OR FCR)

As referências obtidas nas bases de dados foram exportadas para o EndNote X9, onde o título e o resumo foram revisados de forma independente por dois pesquisadores. Posteriormente, os artigos remanescentes foram avaliados na íntegra. Os critérios de seleção utilizados na avaliação do título e resumo foram: [I] artigos de pesquisa completos (publicados após avaliação por pares) relatando [II] estudos experimentais *in vivo* avaliando os efeitos da ingestão dietética de micotoxinas sobre [III] respostas de desempenho produtivo de [IV] frangos de corte (banco de dados I) ou suínos (banco de dados II). Na avaliação do texto completo os artigos também foram selecionados quanto [V] a presença de tratamentos que apresentassem um pool de micotoxinas (contaminação por mais de uma micotoxina) e quanto a [VI] presença de tratamentos de controle positivo, contaminado por uma única micotoxina (desenho fatorial com contaminações individuais e conjuntas das mesmas toxinas).

A decisão sobre quais micotoxinas e níveis deveriam ser selecionados foi realizada com base nos resultados de um estudo anterior desenvolvido pela equipe (Kipper et al., 2020) considerando as micotoxinas mais prevalentes com efeitos significativos no desempenho de frangos de corte e suínos.

Foram cuidadosamente analisadas a qualidade e relevância dos trabalhos e qualquer remoção de periódicos do banco de dados foi registrada no diagrama de fluxo PRISMA. Para ampliar a busca por estudos adicionais, também foi adotada a estratégia de analisar as referências bibliográficas dos artigos selecionados, com o intuito de encontrar outras fontes relevantes. Esses estudos encontrados através das referências foram avaliados com os mesmos critérios mencionados anteriormente e incluídos no diagrama de fluxo PRISMA como "outras fontes".

As informações relacionadas ao modelo teórico proposto e outras variáveis adicionais foram copiadas das seções 'material e métodos' e 'resultados' das publicações originais e transferidas para uma planilha eletrônica. Cada linha da planilha representava um tratamento e cada coluna representava uma variável.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos encontrados em cada etapa foram descritos no diagrama de fluxo PRISMA, apresentados nas Figuras 1 e 2. Para o banco de dados de frangos de corte, a primeira busca alcançou 4.472 estudos, que foram avaliados quanto à duplicidade e, posteriormente, quanto à aderência aos critérios da pesquisa. Onze artigos foram incluídos na base de dados após a revisão dos títulos, resumos e textos completos. Uma breve descrição desses artigos está disponível na tabela 1. Já, para o banco de dados de suínos, a primeira busca alcançou 3464 estudos, que foram avaliados quanto à duplicidade e, posteriormente, quanto à aderência aos critérios da pesquisa. Cinco artigos foram incluídos na base de dados após a revisão dos títulos, resumos e textos completos. Uma breve descrição desses artigos está disponível na tabela 2.

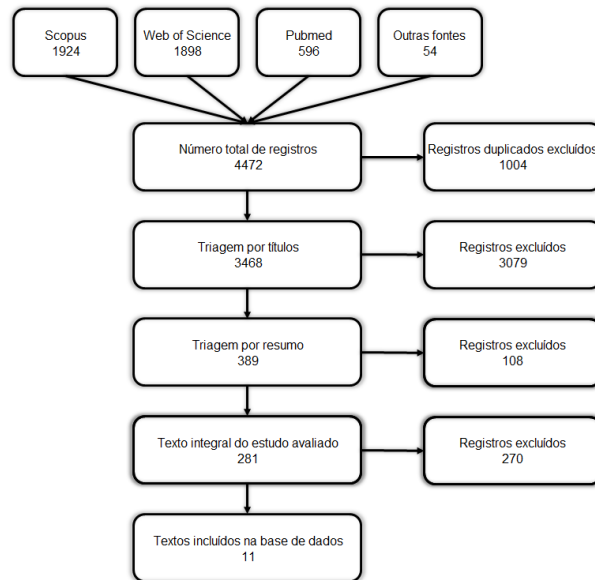


Figura 1. Fluxograma PRISMA da base de dados de frangos de corte que descreve a inclusão e exclusão de estudos

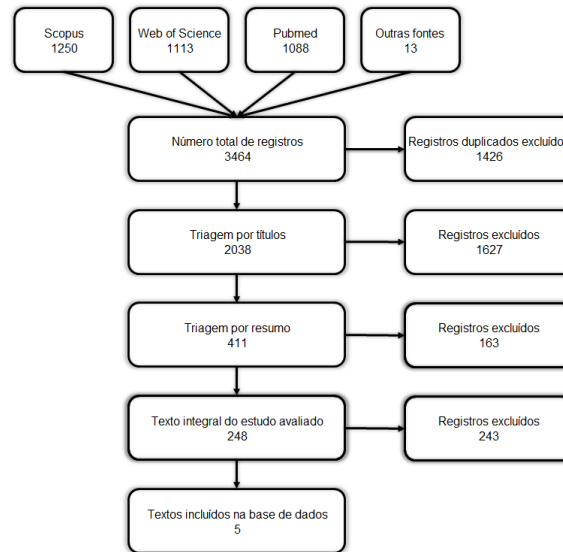


Figura 2. Fluxograma PRISMA da base de dados de suínos que descreve a inclusão e exclusão de estudos.

Tabela 1. Lista das publicações utilizadas na base de dados de frangos de corte

(Citação)	Desafio	Período
(Raju et al., 2000)	AFLA, OCRA, T2	1 – 35 dias
(Verma et al., 2004)	AFLA, OCRA	1 – 21 dias
(Kalorey et al., 2005)	AFLA, OCRA	1 – 21 dias
(Girish et al., 2006)	AFLA, T2	1 – 35 dias
(Santin et al., 2006)	AFLA, OCRA	1 – 21 dias
(Tessari et al., 2006)	AFLA, FUMO	1 – 41 dias
(Pappas et al., 2016)	AFLA, OCRA	1 – 42 dias
(Mendieta et al., 2018)	AFLA, OCRA	1 – 21 dias
(Liu et al., 2020)	DON, FUMO	1 – 8 dias
(Nazarizadeh et al., 2019)	AFLA, OCRA	1 – 10 dias
(Chang et al., 2022)	AFLA, ZEA	1 – 21 dias

Tabela 2. Lista das publicações utilizadas na base de dados de suínos

(Citação)	Desafio	Período
(Harvey et al., 1991)	AFLA, DIA	Crescimento
(Dilkin et al., 2003)	AFLA, FUMO	Creche
(Grenier et al., 2011)	DON, FUMO	Crescimento
(Rempe et al., 2013)	DON, ZEA	Creche
(Jia et al., 2020)	ZEN, DON	Creche

As pesquisas que originaram as publicações do banco de dados de frangos de corte foram realizadas na Índia (n:4), Brasil (n:2), Irã (n:1), China (n:1), Estados Unidos (n:1), México (n:1), e Grécia (n:1), como demonstra a Figura 3.

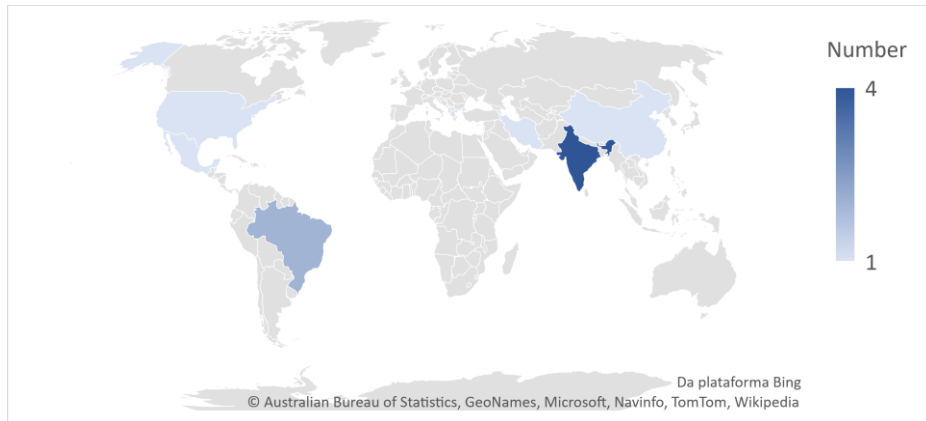


Figura 3. Origem dos estudos utilizados para construção da base de dados de frangos de corte.

Já, as pesquisas que originaram as publicações do banco de suínos foram realizadas na França (n:1), Brasil (n:1), Alemanha (n:1), China (n:1), e Estados Unidos (n:1), como demonstra a Figura 4.

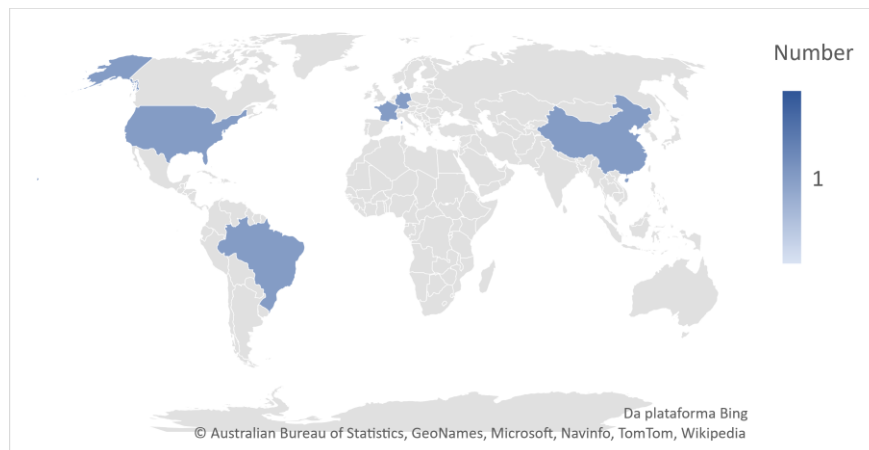


Figura 4. Origem dos estudos utilizados para construção da base de dados de suínos.

Os estudos selecionados para integrar a base de dados de frangos de corte incluíram, 5620 animais distribuídos em 108 tratamentos. Destes, 29,9% foram desenvolvidos em grupos mistos (machos e fêmeas), 37% em machos e 33% não descreveram essa característica. Já os estudos selecionados para integrar a base de dados de suínos incluíram, 276 animais distribuídos em 34 tratamentos. Destes, 13% foram desenvolvidos em grupos mistos (machos e fêmeas), 22% em machos, e 65% em fêmeas. É importante ressaltar que diferenças entre os sexos sobre o metabolismo e, conseqüentemente, sobre os efeitos de comprometimento das micotoxinas em

frangos de corte e suínos já foram relatadas. Assim, seria importante ter mais ensaios incluindo esse efeito no planejamento experimental (por exemplo, como uma abordagem fatorial). Da mesma forma, é importante aumentar os testes em fêmeas. Pois, desconsiderar o efeito do sexo pode levar a um viés importante na literatura sobre micotoxinas.

Através dos resultados dos experimentos contemplados na base de dados, foram calculadas as variações (em porcentagem) dos efeitos no desempenho dos animais ocasionados pelas micotoxinas individualmente e em conjunto (contaminação conjunta) em relação ao tratamento controle (sem contaminação). Os valores encontrados são apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Resultados das variações nos efeitos das micotoxinas calculadas em porcentagem (%) para base de dados de frangos de corte.

Referência	Dose	$\Delta\%$ Peso corporal	$\Delta\%$ Consumo alimentar	$\Delta\%$ Eficiência alimentar
Raju & Devegowda, 2000	Afla - 3mg/kg	-21	-19	4
	Ocra - 2mg/kg	-25	-17	11
	T2 - 3mg/kg	-7	-5	2
	Pool - (Af+Ocra)	-25	-20	10
	Pool - (Af+T2)	-24	-20	6
	Pool - (Ocra+T2)	-24	-2	15
Verma et al., 2004	Afla - 0,5mg/kg	-5	0	5
	Ocra - 1mg/kg	-9	-2	7
	Pool - (Af 0,5 +Ocra 1)	-20	-22	1
	Afla - 1mg/kg	-20	-10	13
	Ocra - 2mg/kg	-27	-18	12
	Pool - (Afla 1 +Ocra 2)	-35	-31	7
	Afla - 2mg/kg	-34	-21	18
	Ocra - 4mg/kg	-39	-31	15
	Pool - (Afla 2 +Ocra 4)	-51	-36	30
Kalorey et al., 2005	Afla - 0,2 ppm	-10		10
	Ocra 0,2 ppm	-14		7
	Pool (Af 0,2 +Ocra 0.2)	-16		14

Girish et al., 2006	Afla - 2mg/kg	-12	-3	11
	T2 - 1mg/kg	-7	-2	5
	Pool (Af 2 + T2 1)	-16	-4	15
Santin et al., 2006	Afla - 500 ppb	1	-6	7
	Ocra - 500 ppb	-4	-6	2
	Pool - (Af 250 +Ocra 250)	-8	-11	4
Tessari et al., 2006	Afla - 50mg/kg	-6		
	Fumo - 50 mg/kg	-6		
	Pool - (Af 50 + Fumo 50)	-13		
	Afla - 200mg/kg	-8		
	Fumo - 200 mg/kg	-10		
Pappas et al., 2016	Pool - (Af 200 + Fumo 200)	-14		
	Afla - 0,1 mg/kg	-1		
	Pool - (Af 0,1 +Ocra 0,1)	-4		
Mendieta et al., 2018	Afla - 350 µg/kg	-5	-1	1
	Ocra - 350µg/kg	-4	-2	-1
	Pool - (Af 350 +Ocra 350)	-6	-3	-1
Nazarizadeh et al., 2019	Afla - 0,50mg/kg	-4	-6	2
	Ocra - 0,25mg/kg	-4	-6	1
	Pool - (Af 0,50 +Ocra 0,25)	-3	-6	4
Liu et al., 2020	Don - 1,5mg/kg	-4	-2	2
	Don - 5,0mg/kg	-2	-2	1
	Fumo - 20mg/kg	-5	-4	2
	Pool - (Don 1,5 +Fumo 20)	-6	-4	2
	Pool - (Don 5 +Fumo 20)	-6	-4	2
Chang et al., 2022	Zea - 500 µg/kg	5	6	1
	Afla - 50 µg/kg	-3	-3	1
	Pool - (Zea 500 + Afla 50)	2	0	-2

Afla: aflatoxina; Ocra: ocratoxina; Don: deoxinivalenol; Zea: zearalenona; Fumo: fumonisina; Pool: contaminação conjunta

Tabela 4. Resultados das variações nos efeitos das micotoxinas calculadas em porcentagem (%) para base de dados de suínos.

Referência	Dose	Δ %Ganho de peso	Δ % Consumo alimentar	Δ % eficiência alimentar
Harvey et al., 1991	Afla- 2,5 mg/kg	-68	-56	-8
	DAS- 2 mg/kg	-16	-44	19
	Pool- (Afla + DAS)	-129	-97	-16
Dilkin et al., 2003	Fumo - 10 mg/kg	-39	-9	-27
	Fumo - 30 mg/kg	-3	4	-7
	Afla - 50 μ g/kg	-1	21	-27
	Pool - (Fumo 10 + Afla 50)	1	10	-10
	Pool - (Fumo 30 + Afla 50)	-55	-38	-12
Grenier et al., 2011	DON - 3 mg/kg	-17		
	Fumo - 6 mg/kg	-3		
	Pool - (DON 3 + Fumo 6)	-12		
Rempe et al., 2013	DON - 0,04 mg/kg	0	0	0
	Pool - (DON 0,43 + ZEA 0,03)	-1	2	-3
	Pool - (DON 3,67 + ZEA 0,32)	-8	1	-10
	Pool - (DON 0,36 + ZEA 0,08)	0	9	-10
Jia et al., 2020	DON - 1000.6 μ g/kg	-2	-2	-1
	ZEA - 269.1 μ g/kg	-1	1	-2
	Pool - (DON 1007.5 + ZEA 265.4)	-15	-11	-4

Afla: aflatoxina; Das: diacetoxyscirpenol; Don: deoxinivalenol; Fumo: fumonisina; Zea: zearalenona; Pool: contaminação conjunta

Em geral, os tratamentos com qualquer contaminação com micotoxinas ocasionaram a redução no consumo de ração, ganho de peso e a piora na eficiência e conversão alimentar, corroborando com os efeitos observados por (KIPPER et al, 2020).

Dentre as micotoxinas individualmente avaliadas, as de maior impacto no desempenho das aves e suínos foram ocratoxina e aflatoxina, respectivamente. Para aves, a contaminação por 4 mg/kg de ocratoxina resultou na redução de 39% no peso corporal e 31% no consumo alimentar, já a contaminação por 2,5 mg/kg de aflatoxina resultou na redução 68% no ganho de peso e 56% no consumo alimentar.

Os efeitos gerados pela contaminação conjunta podem ser classificados quanto a sua interação. Desta forma, auxilia na compreensão das alterações dos índices zootécnicos. As interações podem ser classificadas em efeitos sinérgicos, aditivos, menos que aditivo e antagônicos. No entanto, a realização dessa classificação é complexa e de difícil execução. Como destacado por Grenier & Oswald (2011), as interações diferem mesmo dentro de um mesmo experimento, variando de acordo com a resposta avaliada, com a idade do animal e com a concentração da micotoxina.

Na maior parte dos experimentos os efeitos gerados pelas contaminações conjuntas das diferentes micotoxinas avaliadas formam superiores aos efeitos dos tratamentos individuais. Desta forma, percebeu-se que na maioria dos casos a contaminação conjunta convergiu na piora dos índices zootécnicos. O que reitera a constatação de Grenier & Oswald (2011) que a interação das micotoxinas sobre o desempenho dos animais é em geral sinérgica e aditiva.

Em frangos de corte, a contaminação conjunta com 2 mg/kg aflatoxina e 4 mg/kg ocratoxina foi a mais significativa na piora dos índices zootécnicos, com a redução de 51% no ganho de peso, 36% no consumo alimentar e aumento de 30% na conversão alimentar. O que pode ser explicado pelos dados encontrados por Verma et al. (2004), que doses altas de ambas as toxinas afetaram negativamente a utilização de proteína e energia. Já, nos suínos o efeito prejudicial mais significativo foi ocasionado pelo pool de 2,5 mg/kg de aflatoxina e 2 mg/kg de diacetoxyscirpenol, com a redução de 129% no ganho de peso, 97% no consumo alimentar e 16% na eficiência alimentar. O que pode ser causado pela interação aditiva, como observado por Harvey et al. (1991).

Apesar da relevância e grande incidência da contaminação conjunta poucos trabalhos foram publicados investigando os efeitos e as interações das micotoxinas. Desta forma, a realização de experimentos vislumbrando elucidar esses aspectos são essenciais.

6. CONCLUSÕES

Através deste estudo, foi possível observar que na maior parte dos experimentos a contaminação conjunta resultou na amplificação dos efeitos tóxicos das micotoxinas, tendo um impacto mais significativo nos indicadores de produção em comparação com as contaminações individuais. Desta forma, a contaminação conjunta acarreta prejuízos econômicos e ambientais consideráveis para os setores avícolas e

suinícolas. O presente trabalho, reforça o impacto ocasionado pelas contaminações conjuntas e a necessidade da condução de mais ensaios experimentais e pesquisas na área, vislumbrando a otimização dos índices zootécnicos e conseqüentemente beneficiando as diversas áreas dos setores em questão

7. REFERÊNCIAS

- ABBAS, H. K. et al. Phytotoxicity and cytotoxicity of the fumonisin C and P series of mycotoxins from *Fusarium* spp. fungi. **Toxicon**, v. 36, n. 12, p. 2033–2037, 1998.
- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório anual 2022.
- ALBERTS, J. F. et al. Technological and community-based methods to reduce mycotoxin exposure. **Food Control**, v. 73, p. 101–109, 2017.
- ANDRETTA, I. **ESTUDO META-ANALÍTICO DAS INTERAÇÕES PRODUTIVAS E NUTRICIONAIS DAS MICOTOXINAS NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS E FRANGOS DE CORTE**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- BENNETT, J. W.; KLICH, M. Mycotoxins. v. 16, n. 3, p. 497–516, 2003.
- BHAT, R.; RAI, R. V.; KARIM, A. A. Mycotoxins in food and feed: Present status and Future Concerns. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 9, n. 1, p. 57–81, 2010.
- BORDINI, J. G. et al. Impacto das Fumonisinas, Aflatoxinas e Ocratoxina A na Avicultura. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 2, n. 1, p. 68–88, 2013.
- BRETAS, A. D. A. Inclusão de adsorventes de micotoxinas para leitões. **CES Medicina Veterinaria y Zootecnia**, v. 13, n. 1, p. 80–95, 2018.
- BÜNZEN, S.; HAESE, D. CONTROLE DE MICOTOXINAS NA ALIMENTAÇÃO DE AVES E SUÍNOS. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 3, n. 1, p. 299–304, 2006.
- CARÃO, Á. C. DE P. et al. Métodos físicos e químicos de detoxificação de aflatoxinas e redução da contaminação fúngica na cadeia produtiva avícola. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 4, p. 699–705, 2014.
- DILKIN, P. MICOTOXICOSE SUÍNA: ASPECTOS PREVENTIVOS, CLÍNICOS E PATOLÓGICOS. **O Biológico**, v. 64, p. 187–191, 2002.
- DONATO, H.; DONATO, M. Stages for undertaking a systematic review. **Acta Medica Portuguesa**, v. 32, n. 3, p. 227–235, 2019.
- DORNINGER, C. G.; JENKINS, T.; SCHATZMAYR, G. Global mycotoxin occurrence in feed : **Toxins**, v. 11, 2019.
- GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: CONCEITUAÇÃO, PRODUÇÃO E PUBLICAÇÃO SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: CONCEPT, PRODUCTION AND PUBLICATION. v. 6, n. 1, p. 57–73, 2020.
- GERMANO, P. M. L.; OLIVEIRA, C. A. F. DE. Aflatoxinas: conceitos sobre mecanismos de toxicidade e seu envolvimento na etiologia do câncer hepático celular. **Revista de Saúde Pública**, v. 31, n. 4, p. 417–424, 1997.
- GRENIER, B.; OSWALD, I. P. Mycotoxin co-contamination of food and feed: Meta-analysis of publications describing toxicological interactions. **World Mycotoxin Journal**, v. 4, n. 3, p. 285–313, 2011.

- KIPPER, M. et al. Assessing the implications of mycotoxins on productive efficiency of broilers and growing pigs. **SCIENTIA AGRICOLA**, v. 77, n. 3, 2020.
- KUIPER-GOODMAN, T. Risk assessment and risk management of mycotoxins in food. Em: **Mycotoxins in Food**. [s.l: s.n.]. p. 3–31.
- LINO, C. M. et al. Occurrence of fumonisins B1 and B2 in broa, typical Portuguese maize bread. **International Journal of Food Microbiology**, v. 118, n. 1, p. 79–82, 2007.
- LUO, Y.; LIU, X.; LI, J. Updating techniques on controlling mycotoxins - A review. **Food Control**, v. 89, p. 123–132, 2018.
- MAIA, K. M. et al. Micotoxinas e adsorventes na alimentação animal. **Ciência Animal**, v. 31, n. 4, p. 82–91, 2021.
- MINAFRA, C. S. et al. Lesões orais em frangos de corte provocadas por micotoxinas do milho: Revisão. **Pubvet**, v. 12, p. 1–11, 2018.
- MINAMI, L. et al. Fumonisin: efeitos toxicológicos, mecanismo de ação e biomarcadores para avaliação da exposição. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 25, n. 3, p. 207–224, 2004.
- MURUGESAN, G. R. et al. Prevalence and effects of mycotoxins on poultry health and performance, and recent development in mycotoxin counteracting strategies. **Poultry Science**, v. 94, n. 6, p. 1298 – 1315, 2015.
- OLIVEIRA, F. DE et al. PRINCIPAIS MICOTOXINAS QUE AFETAM A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS. **Revista de Agronomia e Medicina Veterinária Ideau**, v. 2, p. 1–12, 2015.
- PITT, J. Toxicogenic fungi and mycotoxins. **British Medical Bulletin**, v. 56, n. 1, p. 184–192, 2000.
- POHLAND, A. E.; NESHEIM, S.; FRIEDMAN, L. Ochratoxin A: A review (Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v. 64, n. 7, p. 1029–1046, 1992.
- POZZI, C. R. et al. Aspectos relacionados à ocorrência e mecanismo de ação de fumonisin. **Ciência Rural**, v. 32, n. 5, p. 901–907, 2002.
- RHEEDER, J. P.; MARASAS, W. F. O.; VISMER, H. F. Production of fumonisin analogs by *Fusarium* species. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 5, p. 2101–2105, 2002.
- SANTIN, E. et al. Micotoxinas do *fusarium* spp na avicultura comercial. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 185–190, 2001.
- SANTURIO, J. Micotoxinas e micotoxicoses na avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 2, n. 1, p. 01–12, abr. 2000.
- SCHOENTAL, R. Mycotoxins and the Bible. **Perspectives in Biology and Medicine**, v. 28, n. 1, p. 117–120, 1984.
- SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L. V. How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. **Annual Review of Psychology**, v. 70, p. 747–770, 2019.

SOUZA, A. V. C. DE. **Doctor Scientiae**. [s.l: s.n.].

TESSARI, E. N. C.; CARDOSO, A. LÚCIA S. P. Efeitos da aflatoxina sobre as aves: Revisão de literatura. **Revista científica eletrônica de medicina veterinária**, 2012.

YIANNIKOURIS, A.; JOUANY, J.-P. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. **Animal Research**, v. 51, n. 2, p. 81–99, mar. 2002.