

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
17/12/2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CAMPUS DE BOTUCATU

ASPECTOS NA QUALIDADE DA CARNE E EXPRESSÃO DE GENES DE
TILÁPIAS-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*) DESAFIADAS COM FUMONISINAS

BRUNO LALA SILVA

Trabalho de Tese apresentado como parte
das exigências para obtenção do título de
Doutor do Curso de Doutorado do Programa
de Pós-graduação em Zootecnia.

Botucatu, SP
Dezembro de 2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CAMPUS DE BOTUCATU

ASPECTOS NA QUALIDADE DA CARNE E EXPRESSÃO DE GENES DE
TILÁPIAS-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*) DESAFIADAS COM FUMONISINAS

BRUNO LALA SILVA

Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça

Coorientadora: Profa. Dra. Stefania Caroline Claudino da Silva

Trabalho de Tese apresentado como parte
das exigências para obtenção do título de
Doutor do Curso de Doutorado do Programa
de Pós-graduação em Zootecnia.

Botucatu, SP

Dezembro de 2019

L194a	LalaSilva, Bruno Aspectos na qualidade da carne e expressão de genes de tilápias-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) desafiadas com fumonisinas / Bruno LalaSilva. -- Botucatu, 2019 76 p. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu Orientador: Roberto de Oliveira Roça Coorientadora: Stefania Caroline Claudino da Silva 1. Glutathione peroxidase. 2. <i>Fusarium</i> sp.. 3. Micotoxina. 4. Perfil de ácidos graxos. 5. Proteína do choque térmico. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BIOGRAFIA

BRUNO LALA SILVA, filho de Edir Francisco da Silva e Eloiza Ruth Peres Lala, nasceu em Presidente Prudente, São Paulo, no dia 07 de agosto de 1986. Em março de 2006, iniciou no Curso de Graduação em Zootecnia, na Universidade Estadual de Maringá, onde foi bolsista de Iniciação Científica, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e da Fundação Araucária, graduando-se em janeiro de 2011. Em abril de 2011, ingressou no Grupo de Estudos em Silagem e Feno (GESF), como Bolsista de Apoio Técnico do CNPq. Em março de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, em nível de Mestrado, sob orientação do Prof. Dr. Ulysses Cecato e co-orientação da Profa. Dra. Ana Maria Bridi, no Programa de Pós Graduação em Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá, onde foi bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e conquistou o título de Mestre em fevereiro de 2015 na área de Pastagens e Forragicultura. Em agosto de 2016 ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na Universidade Estadual Paulista – Campus de Botucatu-SP, sob orientação do Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça e co-orientação da Profa. Dra. Stefania Caroline Claudino da Silva. Durante o curso de doutorado foi bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Em julho de 2019, submeteu-se ao exame geral de qualificação. Em dezembro de 2019, submeteu-se a apresentação da tese de doutorado.

Just keep swimming

Dory

À Eloiza Ruth Lala,
Pelos trabalhos na madrugada,
Dedico

AGRADECIMENTOS

Em poucas palavras é difícil agradecer a tudo o que aconteceu nestes anos, nos quase 1300 dias, cada momento tem o seu valor especial entre estudos, congressos, análises e confraternizações.

A Deus, pela nova descoberta em ser, e pelo desafio proporcionado.

À minha família, pelo apoio, carinho e incentivo.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (FMVZ – UNESP – Botucatu) pela oportunidade dos estudos e apoio acadêmico.

À Universidade Estadual de Maringá, pelo espaço cedido para realização do trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica (CNPq) pela bolsa de estudos PROC142355/2017-8

Ao Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça, pela acolhida, pelos ensinamentos, pela sabedoria, e pela paciência com os alunos.

À Prof. Dra. Stefania Caroline Claudino da Silva, pela co-orientação durante todo o projeto, por acreditar nesta pesquisa, e pela vontade em ajudar e motivar.

À Profa. Dra. Pricila Veiga dos Santos, pelo auxílio e apoio na utilização dos equipamentos durante o período.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação em Zootecnia da FMVZ/UNESP de Botucatu, Cláudia, Ellen e Seila, pela prestação de serviços e pelo grande apoio na jornada.

Aos colegas de Laboratório de Tecnologia de Produtos de Origem Animal, aos que estão e aos que já alçaram voos diferentes, Bruna Smaniotto, Carolina Santos, Evelyn Brito, Guilherme Sampaio, Janaina Oliveira, Letícia Borges, Luciana Mena, Nara Laiane

Delbem, Nataly Sobral e Renata Lomele, pelo compartilhar das experiências e vivências, pelos exemplos e conhecimentos divididos.

Aos amigos de Botucatu, Amanna, Aline, Caio, Carolina, Daniel, Evelyn, Gustavo, Ianê, Leonardo e Marina, pelo apoio durante o período, pelas conversas, pelas lutas e desafios que enfrentamos e por nossas conquistas presentes, e as que virão.

Aos amigos André, Bruno, Filipe e Lucas(s), pelo apoio durante todo o momento, pelas conversas de distração e por fazerem parte deste processo.

A todos que, direta ou indiretamente, ajudaram na formação do meu caráter pessoal e profissional, aos que me motivaram a continuar e aos que não o fizeram, e mesmo sem intenção, ajudaram.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

1	RESUMO.....	6
2	ABSTRACT	8
3	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
4	I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
5	1. Panorama geral da aquicultura e tilápia-do-Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	11
6	2. Contaminação de alimentos por micotoxinas	11
7	3. Fumonisinas e seus efeitos biológicos	13
8	4. Estresse oxidativo e enzimas antioxidantes: espécies reativas de oxigênios,	
9	enzimas reparadoras e processo enzimático de reparação	15
10	4.1. Glutathione Peroxidase (GPX).....	17
11	4.2. Proteína do choque térmico (HSPs).....	18
12	5. Perfil de ácidos graxos.....	20
13	6. Objetivos	21
14	Referências Bibliográficas	22
15	II – DESAFIO COM FUMONISINA FB ₁ + FB ₂ ALTERA O PERFIL DE ÁCIDOS	
16	GRAXOS EM ALEVINOS DE TILÁPIA-DO-NILO (<i>Aquaculture Journal</i>)	32
17	Resumo.....	32
18	Abstract	33
19	1. Introdução	34
20	2. Material e Métodos	36
21	3. Resultados	40
22	4. Discussão	45
23	5. Conclusão.....	50
24	Referências.....	51
25	III – FUMONISINA ALTERA O EQUILÍBRIO REDOX EM JUVENIS DE TILÁPIA-	
26	DO-NILO (<i>Aquaculture Journal</i>).....	58
27	Resumo.....	58
28	Abstract	59
29	1. Introdução	59
30	2. Material e Métodos	61
31	3. Resultados.....	66
32	4. Discussão	68
33	5. Conclusão	71

1	Referências.....	72
2	IV - IMPLICAÇÕES	76

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi quantificar o desempenho, rendimento de filé, resíduo mineral fixo, proteína, lipídios e análise do perfil de ácidos graxos na carne, e avaliar a expressão gênica de glutathione peroxidase (GPX) e da proteína de choque térmico (HSP70) no fígado, em alevinos de tilápia-do-Nilo alimentados com níveis crescentes de fumonisina, 0 (FB0), 20 (FB20), 40 (FB40) e 60 (FB60) mg de fumonisina (FB) por quilo de ração. Foram utilizados 180 peixes da linhagem Tailandesa revertidos sexualmente, como peso inicial de aproximadamente 2,5g e distribuídos em três caixas de fibrocimento com volume de 900L cada, com sistema individual de renovação da água (25% ao dia), aeração constante e quatro hapas em cada tanque, totalizando 12 unidades experimentais com quatro tratamentos (FB0, FB20, FB40 e FB60) e três repetições. Em cada hapa foram alojados 15 peixes, que passaram por período de adaptação de 15 dias antes do início do experimento. A temperatura foi aferida duas vezes ao dia em cada tanque às 8h00 e 16h00. As variáveis oxigênio dissolvido e pH foram controladas pela manhã durante todo o experimento por meio de kit colorimétrico. A alimentação dos peixes foi realizada de forma manual e individual até saciedade aparente, três vezes ao dia, para evitar contaminação entre hapas. A expressão gênica foi realizada utilizando aparelho de PCR em tempo real e primers específicos. A qualidade foi avaliada por meio da composição química e o perfil dos ácidos graxos foi analisado por cromatografia gasosa. Aos 14 dias, fumonisinas reduziram apenas a expressão de HSP70 comparados ao controle. Porém, fumonisinas reduziram os níveis de HSP70 e aumentaram os níveis de GPX em animais de 28 dias, para os tratamentos FB40 e FB60. O ganho em peso diário aparente foi menor ($Y = 0,019x^2 - 0,124x + 0,325$; $R^2 = 0,928$) para peixes alimentados com dietas contendo FB em comparação ao grupo controle. O efeito negativo nas taxas de crescimento resultou em redução no rendimento de filé ($P < 0,001$). Proteína foi menor (FB60 = 15,38%) para a dose maior do que o controle ($P = 0,0003$). Os valores de umidade na carne foram maiores para o nível de FB20, com efeito quadrático de regressão ($R^2 = 0,688$), os valores para resíduo mineral fixo apresentaram efeito linear de regressão ($R^2 = 0,811$) e apresentaram efeito quadrático de regressão ($R^2 = 0,868$). Os ácidos graxos saturados totais foram maiores em peixes alimentados com FB60 ($37,13 \pm 0,99$) que qualquer outro tratamento. Os ácidos graxos monoinsaturados totais não variaram entre os tratamentos dietéticos, assim como o total de ômega 6 ($\omega 6$). Os ácidos graxos totais ômega3 ($\omega 3$) foram maiores nos peixes alimentados com FB40 ($4,99 \pm 0,15$) e FB60 ($5,20 \pm 0,13$) do que no FB20 ($4,36 \pm 0,03$) e

no tratamento controle ($4,43 \pm 0,18$). Os ácidos graxos poliinsaturados totais foram significativamente maiores nos peixes alimentados com FB40 e FB60. A fumonisina modula a expressão hepática de HSP70 e GPX em alevinos de tilápia-do-Nilo, piora o desempenho em alevinos de tilápias-do-Nilo e modifica o perfil de ácidos graxos, pois eleva a quantidade de ácidos graxos saturados e poliinsaturados, e reduz o nível de ácidos graxos monoinsaturados.

Palavras-chave: glutathione peroxidase, *Fusarium sp.*, micotoxina, perfil de ácidos graxos, proteína do choque térmico.

ABSTRACT

The objective of this research was to quantify the performance, fillet yield, fixed mineral residue, protein, lipids and fatty acid profile analysis in fish meat, and to evaluate the gene expression of glutathione peroxidase (GPX) and heat shock protein (HSP70) in the liver of Nile tilapia fingerlings fed increasing levels of fumonisin, 0 (FB0), 20 (FB20), 40 (FB40) and 60 (FB60) mg of fumonisin (FB) per kilo of feed. One hundred and eighty sexually reversed Thai fish were used, with an initial weight of approximately 2.5g and distributed in three fiber cement boxes with volume of 900L each, with individual water renewal system (25% per day), constant aeration and four hapas in each tank, totaling 12 experimental units with four treatments (FB0, FB20, FB40 and FB60) and three replications. In each hapa 15 fish were housed, which went through an adaptation period of 15 days before the beginning of the experiment. Temperature was measured twice a day in each tank at 8:00 and 16:00. Dissolved oxygen and pH variables were controlled in the morning throughout the experiment by colorimetric kit. Fish feeding was performed manually and individually until apparent satiation, three times a day, to avoid contamination between hapas. Gene expression was performed using real-time PCR apparatus and specific primers. Fish meat quality was assessed by chemical composition and fatty acid profile was analyzed by gas chromatography. At 14 days, fumonisins reduced only HSP70 expression compared to control. However, fumonisins reduced HSP70 levels and increased GPX levels in 28-day animals for FB40 and FB60 treatments. The apparent daily weight gain was lower ($Y = 0.019x^2 - 0.124x + 0.325$; $R^2 = 0.928$) for fish fed diets containing FB compared to the control group. The negative effect on growth rates resulted in reduction in fillet yield ($P < 0.001$). Protein was lower (FB60 = 15.38%) for the higher dose than the control ($P = 0.0003$). Meat moisture content was higher for FB20 level, with quadratic regression effect ($R^2 = 0.688$), values for fixed mineral residue had linear regression effect ($R^2 = 0.811$) and quadratic regression effect ($R^2 = 0.868$). Total saturated fatty acids were higher in fish fed FB60 (37.13 ± 0.99) than any other treatment. Total monounsaturated fatty acids did not vary between dietary treatments, as did the total omega 6 ($\omega 6$). Omega3 ($\omega 3$) total fatty acids were higher in fish fed with FB40 (4.99 ± 0.15) and FB60 (5.20 ± 0.13) than in FB20 (4.36 ± 0.03) and control treatment (4.43 ± 0.18). Total polyunsaturated fatty acids were significantly higher in fish fed with FB40 and FB60. Fumonisin modulates hepatic expression of HSP70 and GPX in Nile tilapia fingerlings, worsens Nile tilapia fingerlings performance and modifies

fatty acid profile as it increases the amount of saturated and polyunsaturated fatty acids, and reduces the level of monounsaturated fatty acids.

Keywords: Glutathione peroxidase, fatty acid profile, *Fusarium* sp., heat shock protein, mycotoxin.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos anos a qualidade sanitária de grãos destinados à alimentação animal e humana tem sido pesquisada para que se possa identificar a presença de fungos, com o intuito de aumentar a produtividade, reduzir prejuízos econômicos e melhorar a qualidade de vida da população mundial (JOBIM et al., 2001). O milho (*Zea mays*) possui grande participação na alimentação como matéria-prima básica na formulação de rações para tilápias, e a qualidade destes grãos depende, entre outros fatores, da correta conservação deste alimento (ABDEL-GHANY et al., 2019).

A micotoxina fumonisina é produzida durante o metabolismo secundário dos fungos *Fusarium verticillioides* e *Fusarium proliferatum* (TURNER et al., 1999), e contamina em larga escala os grãos de milho (BORDINI et al., 2017; ROCHA, 2017). Estudos têm demonstrado que a fumonisina promove alterações no epitélio intestinal de suínos (OSWALD et al., 2003) causando fusão, atrofia e redução da altura das vilosidades intestinais (PIVA et al., 2005; GRENIER, 2012), e em casos mais severos, promove necrose na túnica média de artérias e veias na camada muscular do intestino de aves (JAVED et al., 2005). Danos ao epitélio intestinal têm sido frequentemente associados à redução de absorção de nutrientes (ANDRADE et al., 2010), e mudança no perfil nutricional na carcaça de animais (DIESTEL et al., 2012).

Em nível molecular, o consumo de fumonisina pode alterar o metabolismo lipídico por meio da desruptura da síntese de ceramida, iniciada pela condensação de serina e palmitoil-CoA, um modulador da atividade do complexo enzimático ácido graxo sintase (HORTON et al., 2002), além de alterações na expressão de genes em tilápias (CLAUDINO-SILVA et al., 2018). O bloqueio da rota pode ainda ocasionar acúmulo de esfinganina e gerar estresse oxidativo (WANG et al., 1991). Deste modo, é possível que, devido ao bloqueio na síntese de ceramida, o consumo de níveis crescentes de fumonisinas por alevinos de tilápia-do-Nilo altere o perfil de ácidos graxos na carcaça, além de modular a expressão das enzimas relacionadas ao estresse oxidativo, peroxidação lipídica e proteção celular.

Referências Bibliográficas

- ABDEL-GHANY, H. M. et al. Dietary lipid sources affect cold tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of thermal biology**, v. 79, p. 50-55, 2019.
- ALIZADEH, A. M. et al. Fumonisin B1 contamination of cereals and risk of esophageal cancer in a high risk area in northeastern Iran. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**. v. 13, n. 6, p. 2625-2628, 2012.
- ANDRADE, E. C. et al. Parasitoses intestinais: uma revisão sobre seus aspectos sociais, epidemiológicos, clínicos e terapêuticos. **Revista de APS**, v. 13, n. 2, p. 231-240, 2010.
- ANFOSSI, L.; GIOVANNOLI, C.; BAGGIANI, C. Mycotoxin detection. **Current opinion in biotechnology**, v. 37, p. 120-126, 2016.
- ANSOAR-RODRÍGUEZ, Y. et al. Liver alterations in *Oreochromis niloticus* (Pisces) induced by insecticide imidacloprid: histopathology and heat shock protein in situ localization. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 51, n. 12, p. 881-887, 2016.
- ASEA, Alexzander AA; KAUR, Punit (Ed.). **HSP70 in Human Diseases and Disorders**. Springer, 2018. 403 p.
- AWASTHI, Y. C.; BEUTLER, E.; SRIVASTAVA, S. K. Purification and properties of human erythrocyte glutathione peroxidase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 250, n. 13, p. 5144-5149, 1975.
- BARAC, A. Mycotoxins and Human Disease. In: **Clinically Relevant Mycoses**. Springer, Cham, 2019. p. 213-225.
- BARBOSA, T. S. et al. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. **International Aquatic Research**, v. 5, n. 1, p. 3, 2013.
- BASU, N. et al. The effects of cortisol on heat shock protein 70 levels in two fish species. **General and comparative endocrinology**, v. 124, n. 1, p. 97-105, 2001.
- BERNABUCCI, U. et al. Aflatoxin B1 and fumonisin B1 affect the oxidative status of bovine peripheral blood mononuclear cells. **Toxicology in vitro**, v. 25, n. 3, p. 684-691, 2011.

BERTERO, Alessia et al. Fusarium molds and mycotoxins: Potential species-specific effects. **Toxins**, v. 10, n. 6, p. 244, 2018.

BEZUIDENHOUT, S. C. et al. Structure elucidation of the fumonisins, mycotoxins from *Fusarium moniliforme*. **Journal of the Chemical Society, Chemical Communications**, n. 11, p. 743-745, 1988.

BORDINI, J. G. et al. Impact of industrial dry-milling on fumonisin redistribution in non-transgenic corn in Brazil. **Food chemistry**, v. 220, p. 438-443, 2017.

BRABO, M. F. et al. Current scenario of fish production in the world, Brazil and Pará State: emphasis on aquaculture. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 4, n. 2, p. 50-58, 2016.

BRETAS, A. A. Inclusión of mycotoxin adsorbents for piglets. **CES Medicina Veterinaria y Zootecnia**, v. 13, n. 1, p. 80-95, 2018.

BRIDI, A. M. Consumo de carne bovina e saúde humana: convergências e divergências. **Bovinocultura de Corte: desafios e tecnologias**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2014.

CARLSON, D.B. et al. Fumonisin B1 Promotes Aflatoxin B1 and N-Methyl-N9-nitronitrosoguanidine initiated liver tumors in rainbow trout. **Toxicology and Applied Pharmacology**. 172, 29–36, 2001.

CARVALHO, K. D. O turismo rural como alternativa para o desenvolvimento das comunidades de Itamatatuiá e Santa Maria em Alcântara, Maranhão (Brasil). **Revista de Turismo Contemporâneo**, v. 6, n. 1, 2018.

CHAFIK, A. et al. Characterization of an interesting selenium-dependent glutathione peroxidase (Se-GPx) protecting cells against environmental stress: The *Camelus dromedarius* erythrocytes Se-GPx. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 18, p. 101000, 2019.

CHAN, K. M.; DECKER, E. A.; FEUSTMAN, C. Endogenous skeletal muscle antioxidants. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 34, n. 4, p. 403-426, 1994.

CHHONKER, S. K. et al. An Overview of Mycotoxins in Human Health with Emphasis on Development and Progression of Liver Cancer. **Clinical Oncology**, v. 3, p. 1408, 2018.

CHIU, D. T.; STULTS, F. H.; TAPPEL, A. L. Purification and properties of rat lung soluble glutathione peroxidase. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Enzymology**, v. 445, n. 3, p. 558-566, 1976.

CLAUDINO-SILVA, S. C. et al. Challenge with fumonisins B1 and B2 changes IGF-1 and GHR mRNA expression in liver of Nile tilapia fingerlings. **World Mycotoxin Journal**, v. 11, n. 2, p. 237-245, 2018.

DAS, U. N. Molecular Mechanisms behind the beneficial activity of polyunsaturated fatty acids in Alzheimer's disease and related conditions. **Neuroprotective Effects of Phytochemicals in Neurological Disorders**, p. 359, 2017.

DAUN, C.; ÅKESSON, B. Glutathione peroxidase activity, and content of total and soluble selenium in five bovine and porcine organs used in meat production. **Meat science**, v. 66, n. 4, p. 801-807, 2004.

DE VEGA, R. G. et al. Protective effect of selenium supplementation following oxidative stress mediated by glucose on retinal pigment epithelium. **Metallomics**, v. 10, n. 1, p. 83-92, 2018.

DIAS, A. G. et al. Percepção de consumidores sobre produtos de origem caprina na cidade de Uberlândia, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 99-114, 2018.

DIDWANIA, N.; TRIVEDI, P. C. Mycotoxins: A review of toxicity, metabolism and biological approaches to counteract the production in food. **MR International Journal of Engineering & Technology**, v. 6, n. 2, p. 38-42, 2018.

DIESTEL, C.; SANTOS, M.; ROMI, M. Tratamento nutricional nas doenças inflamatórias intestinais. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, v. 11, n. 4, 2012.

DINI, L. et al. Expression of stress proteins 70 in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) during confinement and crowding stress. **Italian Journal of Zoology**, v. 73, n. 2, p. 117-124, 2006.

EHRINGER, W. et al. A comparison of the effects of linolenic (18: 3 Ω 3) and docosahexaenoic (22: 6 Ω 3) acids on phospholipid bilayers. **Chemistry and physics of lipids**, v. 54, n. 2, p. 79-88, 1990.

EKAMBARAM, P.; NARAYANAN, M. Upregulation of HSP70 extends Cytoprotection to fish brain under xenobiotic stress. **Journal of Fisheries Sciences. com**, v. 11, n. 1, p. 11, 2017.

ENONGENE, E. N. et al. Disruption of sphingolipid metabolism in small intestines, liver and kidney of mice dosed subcutaneously with fumonisin B1. **Food and chemical toxicology**, v. 38, n. 9, p. 793-799, 2000.

FAO/WHO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals**. Rome, 2018. 227p. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf>>. Acesso em: 10 abr, 2019.

GARCIA, S. F. A. et al. Quais os sinais de carne macia e saborosa? Análise dos atributos da carne bovina que, no momento da compra, melhor sinalizam os benefícios mais desejados pelo consumidor. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 17, n. 4, p. 487-501, 2018.

GARRIDO-RAMÍREZ, E. R. et al. Identification of fungi and mycotoxins associated to coffee beans (*Coffea L.*) in Chiapas, Mexico. **Agroproductividad**, v. 11, n. 12, 2018.

GOMES, V. D. S. et al. Caracterização sumária dos empreendimentos tipo pesque-pague em cidades do Rio Grande do Norte. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 18, n. 4, 2016.

GONÇALVES, K. D. M. et al. Occurrence of aflatoxins B1 and M1 in milk powder and UHT consumed in the city of Assomada (Cape Verde Islands) and southern Brazil. **Food control**, v. 93, p. 260-264, 2018.

GRENIER, B. et al. The low intestinal and hepatic toxicity of hydrolyzed fumonisin B1 correlates with its inability to alter the metabolism of sphingolipids. **Biochemical pharmacology**, v. 83, n. 10, p. 1465-1473, 2012.

HARRISON, L. R. et al. Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme*. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 2, n. 3, p. 217-221, 1990.

HORTON, J. D.; GOLDSTEIN, J. L.; BROWN, M. S. SREBPs: activators of the complete program of cholesterol and fatty acid synthesis in the liver. **The Journal of clinical investigation**, v. 109, n. 9, p. 1125-1131, 2002.

IGHODARO, O. M.; AKINLOYE, O. A. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. **Alexandria Journal of Medicine**, v. 54, n. 4, p. 287-293, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa pecuária municipal. IBGE, 2019. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

IZA, I. et al. Procedure for reducing contaminants in vegetable protein matter. **U.S. Patent Application**, n. 15/775,177, 31 jan. 2019.

JAVED, T. et al. Comparative pathologic changes in broiler chicks on feed amended with *Fusarium proliferatum* culture material or purified fumonisin B1 and moniliformin. **Mycopathologia**, v. 159, n. 4, p. 553-564, 2005.

JESUS, T. F.; INÁCIO, A.; COELHO, A. M. Different levels of hsp70 and hsc70 mRNA expression in Iberian fish exposed to distinct river conditions. **Genetics and molecular biology**, v. 36, n. 1, p. 061-069, 2013.

JOBIM, C.C.; GONÇALVES, G.D.; SANTOS, G.T. Qualidade sanitária de grãos e de forragens conservadas “versus” desempenho animal e qualidade de seus produtos. **Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas**, v. 1, p. 242-261, 2001.

JONSSON, H. et al. Expression of cytoskeletal proteins, cross-reacting with anti-CYP1A, in *Mytilus* sp. exposed to organic contaminants. **Aquatic toxicology**, v. 78, p. S42-S48, 2006.

KIM, J. Y. et al. The 70-kDa heat shock protein (Hsp70) as a therapeutic target for stroke. **Expert opinion on therapeutic targets**, v. 22, n. 3, p. 191-199, 2018.

KOVAČIĆ, S. et al. Fumonisin B1 neurotoxicity in young carp (*Cyprinus carpio* L.). **Arhiv za higijenu rada i toksikologiju**, v. 60, n. 4, p. 419-425, 2009.

LAZZARI, F. A. **Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações**. 2ª ed. Curitiba: Paranaset. 1997. 134p.

LEDOUX, D. R. et al. Fumonisin toxicity in broiler chicks. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 4, n. 3, p. 330-333, 1992.

LIMA, R. N. et al. Importância do ácido linoleico conjugado (CLA) em produtos de origem animal. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1307-1331, 2018.

LIU, L. et al. Human fetal intestinal epithelial cells metabolize and incorporate branched chain fatty acids in a structure specific manner. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)**, v. 116, p. 32-39, 2017.

LÜCKSTÄDT, C. et al. Stress protein Hsp70 response of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus niloticus* (Linnaeus 1758) to induced hypoxia and recovery. **Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie**, v. 2004, p. 4, 2004.

LUENGO, Tania Morán; MAYER, Matthias P.; RÜDIGER, Stefan GD. The Hsp70–Hsp90 Chaperone Cascade in Protein Folding. **Trends in cell biology**, 2018.

LUMLERTDACHA, S. et al. Growth, hematology, and histopathology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed toxins from *Fusarium moniliforme*. **Aquaculture**, v. 130, n. 2-3, p. 201-218, 1995.

MARKLUND, S.; MARKLUND, G. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. **European journal of biochemistry**, v. 47, n. 3, p. 469-474, 1974.

MAURI, G. N. et al. A aquicultura em comunidades tradicionais: ameaças, oportunidades e dificuldades. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 3, n. 1, p. 48-56, 2017.

MCGUIRE, M. A.; MCGUIRE, M. K. Conjugated linoleic acid (CLA): A ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. E-Suppl, p. 1-8, 2000.

MELLO, D. F. et al. Effects of the dinoflagellate *Alexandrium minutum* and its toxin (saxitoxin) on the functional activity and gene expression of *Crassostrea gigas* hemocytes. **Harmful Algae**, v. 26, p. 45-51, 2013.

MELO, M. T. P. et al. Fatty acid composition of cheese and milk of cows fed with banana peel. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 3, p. 965-974, 2018.

MILLS, G. C. Hemoglobin catabolism I. Glutathione peroxidase, an erythrocyte enzyme which protects hemoglobin from oxidative breakdown. **Journal of Biological Chemistry**, v. 229, n. 1, p. 189-197, 1957.

MOREIRA-DE-SOUSA, C.; SOUZA, R. B.; FONTANETTI, C. S. HSP70 as a Biomarker: an Excellent Tool in Environmental Contamination Analysis—a Review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 8, p. 264, 2018.

NAKAMURA, W.; HOSODA, S.; HAYASHI, K. Purification and properties of rat liver glutathione peroxidase. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Enzymology**, v. 358, n. 2, p. 251-261, 1974.

NAKANO, T.; SATO, M.; TAKEUCHI, M. Glutathione peroxidase of fish. **Journal of food science**, v. 57, n. 5, p. 1116-1119, 1992.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1328 p.

NOGUEIRA, M. et al. Natural contamination with mycotoxins produced by *Fusarium graminearum* and *Fusarium poae* in malting barley in Argentina. **Toxins**, v. 10, n. 2, p. 78, 2018.

OLIVEIRA, F. et al. Principais micotoxinas que afetam a produção de alimentos. **RAMVI, Getúlio Vargas**, v. 2, n. 33, p. 2358-2243, 2015.

OSWALD, I. P. et al. Mycotoxin fumonisin B1 increases intestinal colonization by pathogenic *Escherichia coli* in pigs. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 69, n. 10, p. 5870-5874, 2003.

PEPELJNJAK, S. et al. Screening toxicity study in young carp (*Cyprinus carpio* L.) on feed amended with fumonisin B 1. **Mycopathologia**, v. 156, n. 2, p. 139-145, 2003.

PEREIRA, K. C.; SANTOS, C. F. Micotoxinas e seu potencial carcinogênico. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 4, 2015.

PEROMINGO, B. et al. Diffusion of mycotoxins and secondary metabolites in dry-cured meat products. **Food Control**, v. 101, p. 144-150, 2019.

PICKLER, E.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Desenvolvimento e potencial da tilapicultura no Brasil. **Brazilian Review of Economics & Agribusiness/Revista de Economia e Agronegócio**, v. 16, n. 2, 2018.

PIVA, A. et al. Activated carbon does not prevent the toxicity of culture material containing fumonisin B1 when fed to weanling piglets. **Journal of animal science**, v. 83, n. 8, p. 1939-1947, 2005.

PLATTNER, R. D. et al. A method of detection of fumonisins in corn samples associated with field cases of equine leukoencephalomalacia. **Mycologia**, v. 82, n. 6, p. 698-702, 1990.

PLEADIN, J. et al. The effect of thermal processing on the reduction of maize fumonisin content. In: **11th International Scientific and Professional Conference With Food to Health**. 2018.

PRATA, P. M.; MARQUES, P H. Saúde e Alimentação no Trabalho. **Vertentes e Desafios da Segurança**, p. 119, 2017.

QIAN, G. et al. Sequential dietary exposure to aflatoxin B1 and fumonisin B1 in F344 rats increases liver preneoplastic changes indicative of a synergistic interaction. **Food and Chemical Toxicology**, v. 95, p. 188-195, 2016.

RAMANATHAN, R. et al. Mitochondrial functionality and beef colour: A review of recent research. **South African Journal of Animal Science**, v. 49, n. 1, p. 9-19, 2019.

REIS, V. R.; DE ALMEIDA, F. L.; PIFERRER, F. Produção de populações monossexo em peixes. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.40, n.1, p.22-28, 2016.

RHEEDER, J. P.; MARASAS, W. FO; VISMER, H. F. Production of fumonisin analogs by *Fusarium* species. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 68, n. 5, p. 2101-2105, 2002.

RIEDEL, S. et al. Differential modulation of the lipid metabolism as a model for cellular resistance to fumonisin B1–induced cytotoxic effects in vitro. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 109, p. 39-51, 2016.

ROCHA, L. O. et al. Association between FUM expression and fumonisin contamination in maize from silking to harvest. **Crop protection**, v. 94, p. 77-82, 2017.

SAITO, H. et al. Cytotoxicity of 109 chemicals to goldfish GFS cells and relationships with 1-octanol/water partition coefficients. **Chemosphere**, v. 26, n. 5, p. 1015-1028, 1993.

SAVI, G. D. et al. Incidence of toxigenic fungi and zearalenone in rice grains from Brazil. **International journal of food microbiology**, v. 270, p. 5-13, 2018.

SILVA-ZACARIN, E. C. M. et al. Protocol for optimization of histological, histochemical and immunohistochemical analyses of larval tissues: application in histopathology of honey bee. **Current microscopy contributions to advances in science and technology**. Badajoz: Formatex Research Center, 2012. p. 696-703.

SLATER, S. J. et al. Polyunsaturation in cell membranes and lipid bilayers and its effects on membrane proteins. **Lipids**, v. 31, n. 1, p. S189-S192, 1996.

SMULDERS, F. J. M.; RIETJENS, I. M. C. M; ROSE, M. D. Chemical hazards in foods of animal origin and the associated risks for public health: elementary considerations. In: **Chemical hazards in foods of animal origin**. Wageningen Academic Publishers, 2019. p. 99-117.

SORIANO, J. M.; DRAGACCI, S. Occurrence of fumonisins in foods. **Food Research International**, v. 37, n. 10, p. 985-1000, 2004.

SÖYÜT, H. et al. Changes in carbonic anhydrase activity and gene expression of Hsp70 in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) muscle after exposure to some metals. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 36, n. 5, p. 499-508, 2012.

SPENCE, M. et al. Exploring consumer purchase intentions towards traceable minced beef and beef steak using the theory of planned behavior. **Food control**, v. 91, p. 138-

SRINIVASARAO, P. et al. Influence of dietary fat on the activities of subcellular membrane-bound enzymes from different regions of rat brain. **Neurochemistry international**, v. 31, n. 6, p. 789-794, 1997.

SUN, Y. I.; OBERLEY, Larry W.; LI, Ying. A simple method for clinical assay of superoxide dismutase. **Clinical chemistry**, v. 34, n. 3, p. 497-500, 1988.

TANAKA, N. M. Saúde quântica no tratamento da obesidade. **Revista Saúde Quântica**, v. 5, n. 5, p. 128-141, 2016.

TAPPEL, M. E.; CHAUDIERE, J.; TAPPEL, A. L. Glutathione peroxidase activities of animal tissues. **Comparative biochemistry and physiology. B, Comparative biochemistry**, v. 73, n. 4, p. 945-949, 1982.

TOSHIRO, A. et al. Glutathione peroxidase activity in tissues of chickens supplemented with dietary selenium. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 107, n. 1, p. 245-248, 1994.

TUAN, N. A. et al. Responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different concentrations of moniliformin or fumonisin B1. **Aquaculture**, v. 217, n. 1-4, p. 515-528, 2003.

TURNER, P. C.; NIKIEMA, P.; WILD, C. P. Fumonisin contamination of food: progress in development of biomarkers to better assess human health risks. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 443, n. 1-2, p. 81-93, 1999.

URBANEK, Kinga Anna et al. Deoxynivalenol as potential modulator of human steroidogenesis. **Journal of Applied Toxicology**, v. 38, n. 12, p. 1450-1459, 2018.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell. 1994. 476p.

VAZ, D. S. S. et al. A importância do ômega 3 para a saúde humana: um estudo de revisão. **Revista UNINGÁ Review**, v. 20, n. 2, 2018.

VISCONTI, A. et al. Occurrence of fumonisins in Europe and the BCR—measurements and testing projects. **Natural toxins**, v. 3, n. 4, p. 269-274, 1995.

WANG, E. et al. Inhibition of sphingolipid biosynthesis by fumonisins. Implications for diseases associated with *Fusarium moniliforme*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 266, n. 22, p. 14486-14490, 1991.

WEIBKING, T. S. et al. Effects of feeding *Fusarium moniliforme* culture material, containing known levels of fumonisin B1, on the young broiler chick. **Poultry Science**, v. 72, n. 3, p. 456-466, 1993.

WILLIAMS, C.M. Dietary fatty acids and human health. **Annales de Zootechnie**, v.49, p.165-180, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Interim summary of conclusions and dietary recommendations on total fat & fatty acids. **From the joint FAO/WHO expert consultation on fats and fatty acids in human nutrition**, p. 10-14, 2008.

YOUDIM, K. A.; MARTIN, A.; JOSEPH, J. A. Essential fatty acids and the brain: possible health implications. **International Journal of Developmental Neuroscience**, v. 18, n. 4-5, p. 383-399, 2000.

ZINEDINE, A.; EL AKHDARI, S. Food Safety and Climate Change: Case of Mycotoxins. In: **Handbook of Research on Global Environmental Changes and Human Health**. IGI Global, 2019. p. 74-97.

ZUANAZZI, J. S. G. et al. Anoxia stress and effect on flesh quality and gene expression of tilapia. **Food Science Technology**, Campinas, v. 39, n. 1, p. 195-202, mar. 2019.

arterial, a artrite e quantidade de triglicerídeos no organismo (Debeuf et al., 2018; Suárez et al., 2018).

Frequentemente o ácido graxo docosahexaenoico (22:6n3, DHA) é considerado o produto do metabolismo do linoleato (Qiu, 2003; Chen et al., 2018). No entanto, o DHA favorece a fluidez celular e possui efeitos benéficos quanto a saúde cerebral, pulmonar, ocular e cardiovascular, encefalopatias, além de controlar a pressão arterial e proteger o endotélio e regular o processo inflamatório (Lauritzen et al., 2016; Mayurasakorn et al., 2016; Yin et al., 2018). Do mesmo modo, o EPA possui ação anti-inflamatória, pois auxilia nas reações enzimáticas responsáveis pela produção de prostaglandinas E3. Em nosso estudo, os valores para DHA e EPA foram maiores nos tratamentos com fumonisina comparados com o grupo controle. Gelderblom et al. (2002) observaram níveis maiores de DHA e EPA na porção de fosfatidilcolina de hepatócitos de ratos alimentados com 10mg FB / kg de ração, corroborando os resultados observados neste estudo. Isto evidencia que as células dos animais foram danificadas pela ação da fumonisina, e foi necessário a maior síntese destes ácidos como mecanismo alternativo para recuperar o organismo do dano. Este é o primeiro estudo envolvendo a ação de fumonisina sobre o perfil de ácidos graxos em tilápias, entretanto, ainda existem questões a serem elucidadas sobre os mecanismos relativos à biossíntese lipídica e balanço final entre ácidos graxos de tilápias.

5. Conclusão

A fumonisina piora o desempenho em alevinos de tilápias-do-Nilo e modifica o perfil de ácidos graxos, pois eleva a quantidade de ácidos graxos saturados e poliinsaturados, e reduz o nível de ácidos graxos monoinsaturados.

Referências

- AOAC, 2012. Official Methods of Analysis of AOAC International (19 ed.): AOAC International.
- Barbosa, T.S., Pereyra, C.M., Soleiro, C.A., Dias, E.O., Oliveira, A.A., Keller, K.M., Silva, P.P.O., Cavaglieri, L.R., Rosa, C.A.R., 2013. Mycobiota and mycotoxins present in finished fish feeds from farms in the Rio de Janeiro State, Brazil. *Int. Aquat. Res.* 5, 3. <https://link.springer.com/article/10.1186/2008-6970-5-3>
- Bligh, E. G., Dyer, W. J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37, 911-917. <https://doi.org/10.1139/y59-099>
- Bonamone, A., Grundy, S.M., 1988. Effect of dietary stearic acid on plasma cholesterol and lipoprotein levels. *New Engl. J. Med.* 318, 1244±1248. <https://doi.org/10.1056/NEJM198805123181905>
- Bouwens M, Grootte Bromhaar M, Jansen J, Müller M, Afman LA., 2010. Postprandial dietary lipid-specific effects on human peripheral blood mononuclear cell gene expression profiles. *Am. J. Clin. Nutr.* 91, 208-217. <http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.2009.28586>
- Bretas, A. A., 2018. Inclusión of mycotoxin adsorbents for piglets. *Ces. Med. Vet. Zootec.* 13, 80-95. <http://dx.doi.org/10.21615/cesmvz.13.1.6>
- Carlson, D.B.; Williams, D.E.; Spitsbergen, J.M.; Ross, P.F.; Bacon, C.W.; Meredith, F.I., Riley, R.T., 2001. Fumonisin B1 Promotes Aflatoxin B1 and N-Methyl-N9-nitronitrosoguanidine Initiated Liver Tumors in Rainbow Trout. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 172, 29–36. <https://doi.org/10.1006/taap.2001.9129>
- Carluccio, M.A., Massaro, M., Scoditti, E., Caterina, R., 2007. Vasculoprotective potential of olive oil components. *Mol. Nutr. Food Res.* 51, 1225-1234. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600305>

Carrillo, C., Alonso-Torre, S.R., 2012. Antitumor effect of oleic acid; mechanisms of action. A review. *Nutr. Hosp.* 27, 1860-1865. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6010>

Chen, C., Guan, W., Xie, Q., Chen, G., He, X., Zhang, H., ... & Pan, Q. (2018). n-3 essential fatty acids in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: Bioconverting LNA to DHA is relatively efficient and the LC-PUFA biosynthetic pathway is substrate limited in juvenile fish. *Aquaculture*, 495, 513-522. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.06.023>

Chuturgoon, A., Phulukdaree, A., Moodley, D., 2014. Fumonisin B1 induces global DNA hypomethylation in HepG2 cells—An alternative mechanism of action. *Toxicology*, 315, 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2013.11.004>

Claudino-Silva, S.C., Lala, B., Mora, N.H., Schamber, C.R., Nascimento, C.S., Pereira, V.V., Gasparino, E., 2018a. Fumonisin B1+ B2 changes the expression of genes in apoptosis balance in Nile tilapia fingerlings. *Aquaculture* 488, 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.020>.

Claudino-Silva, S.C., Lala, B., Mora, N.H.A.P., Schamber, C.R., Nascimento, C.S., Pereira, V.V., Gasparino, E., 2018b. Challenge with fumonisins B1 and B2 changes IGF-1 and GHR mRNA expression in liver of Nile tilapia fingerlings. *World Mycotoxin J.* 11 (2), 237-245. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2208>.

Claudino-Silva, S.C., Lala, B., Carniato, C., Schamberd, C. R., Nascimento, C. S., Braccini, G. L., Porto, C., Roldi, G., Tanamati, F., Gasparino, E., 2019. Fumonisin affects performance and modulates the gene expression of IGF-1 and GHR in Nile tilapia fingerlings and juveniles. *Aquaculture*. 507, 233-237. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.027>

Cooper-Prado, M. J., Rubio, I., Long, N. M., Davis, M. P., Spicer, L. J., Wettemann, R. P., 2018. Case Study: Effects of body weight gain and bovine somatotropin treatment of postpartum beef cows on concentrations of IGF-1, insulin, and glucose in blood plasma;

luteal activity; and calf growth. *The Professional Animal Scientist*, 34, 513-521.
<https://doi.org/10.15232/pas.2018-01746>

Debeuf, N., Lambrecht, B. N., 2018. Eicosanoid control over antigen presenting cells in asthma. *Frontiers in immunology*, 9. <https://dx.doi.org/10.3389/fimmu.2018.02006>

Domijan, A.M., Abramov, A.Y., 2011. Fumonisin B1 inhibits mitochondrial respiration and deregulates calcium homeostasis—implication to mechanism of cell toxicity. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 43(6), 897-904.
<https://doi.org/10.1016/j.biocel.2011.03.003>

Duncan, C. A., Jetzt, A. E., Cohick, W. S., John-Alder, H. B., 2015. Nutritional modulation of IGF-1 in relation to growth and body condition in *Sceloporus lizards*. *General and comparative endocrinology*, 216, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2015.02.009>

Garcia, M.C., Sprecher, H., Rosenthal, M.D., 1990. Chain elongation of polyunsaturated fatty acids by vascular endothelial cells: studies with arachidonate analogues. *Lipids*, 25(4), 211-215. <https://doi.org/10.1007/BF02535749>

Garcia, S.F.A., Carvalho, D.T.D., Miranda, C.D.S., Bosco, B.R.M., 2018. Quais os Sinais de Carne Macia e Saborosa? Análise dos Atributos da Carne Bovina que, no Momento da Compra, Melhor Sinalizam os Benefícios mais Desejados pelo Consumidor. *Rev. Bras. Market.* 17, 487-501. DOI: 10.5585/remark.v17i4.3758

Gelderblom, W.C.A., Smuts, C.M., Abel, S., Snyman, S.D., Cawood, M.E., Van der Westhuizen, L., Swanevelder, S., 1996. Effect of fumonisin B1 on protein and lipid synthesis in primary rat hepatocytes. *Food Chem. Toxicol.* 34, 361-369. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(96\)00107-X](https://doi.org/10.1016/0278-6915(96)00107-X)

Gelderblom, W.C.A., Smuts, C.M., Abel, S., Snyman, S.D., Van der Westhuizen, L., Huber, W.W., Swanevelder, S., 1997. Effect of fumonisin B1 on the levels and fatty acid

composition of selected lipids in rat liver in vivo. Food Chem. Toxicol. 35, 647-656.
[https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(97\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(97)00036-7)

Gelderblom, W.C.A., Moritz, W., Swanevelder, S., Smuts, C.M., Abel, S., 2002. Lipids and $\Delta 6$ -desaturase activity alterations in rat liver microsomal membranes induced by fumonisin B1. Lipids, 37(9), 869-877. Último acesso: 25/04/2019.
<https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1007/s11745-002-0973-4>

Gontijo A.M.M.C., Barreto R.E., Speit G., Reyes V.A.V., Volpato G.L., Salvadori D.M.F., 2003. Anesthesia of fish with benzocaine does not interfere with comet assay results. Mutat. Res. 534, 165–172. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(02\)00276-0](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(02)00276-0)

Harrison, L.R., Colvin, B.M., Greene, J.T., Newman, L.E., Cole, J.R., 1990. Pulmonary edema and hydrothorax in swine produced by fumonisin B1, a toxic metabolite of *Fusarium moniliforme*. J. Vet. Diagn. Invest. 2, 217-221.
<https://doi.org/10.1177/104063879000200312>

Hartman, L., Lago, R. C., 1973. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. Lab. Pract. 22, 475-476.

Hoak, J.C., 1994. Stearic acid, clotting, and thrombosis. Am. J. Clin. Nutr. 60, 1050S-1053S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/60.6.1050S>

Ioan-Facsinay, A., Kloppenburg, M., 2018. Bioactive lipids in osteoarthritis: risk or benefit?. Curr. Opin. Rheumatol., 30(1), 108-113.
<https://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000463>

Kellerman, T.S., Marasas, W.F., Thiel, P.G., Gelderblom, W.C., Cawood, M., Coetzer, J.A., 1990. Leukoencephalomalacia in two horses induced by oral dosing of fumonisin B1. Onderstepoort J. Vet. Res. 57, 269-275. <http://hdl.handle.net/2263/41861>

Kovačić, S.; Pepeljnjak, S.; Petrincec, Z.; Klarić, M.S., 2009. Fumonisin B1 neurotoxicity in young carp (*Cyprinus carpio* L.). Arh. Hig. Rada Toksikol. 60, 419-426. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-60-2009-1974>

Kris-Etherton, P. M., Petersen, K., Van Horn, L., 2018. Convincing evidence supports reducing saturated fat to decrease cardiovascular disease risk. BMJ Nutr. Prev. Healt., 2018, 1-4. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjnp-2018-000009>

Lands, W.E., 1992. Biochemistry and physiology of n-3 fatty acids. FASEB J. 6, 2530-2536. <https://doi.org/10.1096/fasebj.6.8.1592205>

Lauritzen, L., Brambilla, P., Mazzocchi, A., Harsløf, L., Ciappolino, V., Agostoni, C., 2016. DHA effects in brain development and function. Nutrients, 8(1), 6. <https://doi.org/10.3390/nu8010006>

Lumlerdacha, S., Lovell, R.T., Shelby, R.A., Lenz, S.D., Kemppainen, B.W., 1995. Growth, hematology, and histopathology of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed toxins from *Fusarium moniliforme*. Aquaculture 130, 201-218, 1995. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00219-E](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00219-E)

Mayurasakorn, K., Niatetskaya, Z. V., Sosunov, S. A., Williams, J. J., Zirpoli, H., Vlasakov, I., Deckelbaum, R.J., Ten, V. S., 2016. DHA but not EPA emulsions preserve neurological and mitochondrial function after brain hypoxia-ischemia in neonatal mice. PLoS One, 11(8), e0160870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160870>

Nelson, D.L., Cox, M.M., 2014. Principípios de bioquímica de Lehninger. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 1328 p.

Palomer, X., Pizarro-Delgado, J., Barroso, E., & Vázquez-Carrera, M., 2018. Palmitic and oleic acid: the yin and yang of fatty acids in type 2 diabetes mellitus. Trends in Endocrinology & Metabolism, 29(3), 178-190. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2017.11.009>

Qiu, X., 2003. Biosynthesis of docosahexaenoic acid (DHA, 22: 6-4, 7, 10, 13, 16, 19): two distinct pathways. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, 68(2), 181-186. [https://doi.org/10.1016/S0952-3278\(02\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0952-3278(02)00268-5)

Smulders, F.J., Rietjens, I.M., Rose, M.D., 2019. Chemical hazards in foods of animal origin and the associated risks for public health: elementary considerations. In *Chemical hazards in foods of animal origin*. Wageningen Academic Publishers. pp 99-117. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-877-3>

Suárez, H., Francisco, A., Beirão, L., Block, J., Saccol, A., Pardo-Carrasco, S., 2018. Importância de ácidos graxos poliinsaturados presentes em peixes de cultivo e de ambiente natural para a nutrição humana. *Boletim do Instituto de Pesca*, 28(1), 101-110. Último acesso: 25/04/2019. https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/Suarez_mahecha

Tuan N.A., Manning, B.B., Lovell, R.T., Rottinghaus, G.E., 2003. Responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different concentrations of moniliformin or fumonisin B1. *Aquaculture*, 217, 515-528. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00268-5)

Van den Berg, S.A., Guigas, B., Bijland, S., Ouwens, M., Voshol, P.J., Frants, R.R., Havekes, L.M., Romijn, J.A., Van Dijk, K.W., 2010. High levels of dietary stearate promote adiposity and deteriorate hepatic insulin sensitivity. *Nutr. Metab.* 7:24, 2010. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-7-24>

Wang, E., Norred, W.P., Bacon, C.W., Riley, R.T., Merrill, A.H., 1991. Inhibition of sphingolipid biosynthesis by fumonisins. Implications for diseases associated with *Fusarium moniliforme*. *J. Biol. Chem.*, 266(22), 14486-14490. <http://www.jbc.org/content/266/22/14486.full.pdf>

Wei, J., Gronert, K., 2018. Eicosanoid and Specialized Proresolving Mediator Regulation of Lymphoid Cells. *Trends Bioch. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.tibs.2018.10.007>

Yin, Y., Li, E., Sun, G., Yan, H. Q., Foley, L. M., Andrzejczuk, L. A., Attarwala, I.Y, Hitchens, T.K., Kiselyov, K., Dixon, C.E., Sun, D., 2018. Effects of DHA on hippocampal autophagy and lysosome function after traumatic brain injury. *Mol. Neurbiol.* 55(3), 2454-2470. <https://doi.org/10.1007/s12035-017-0504-8>

Zinedine, A., El Akhdari, S., 2019. Food Safety and Climate Change: Case of Mycotoxins. In: *Handbook of Research on Global Environmental Changes and Human Health*. IGI Global. p. 74-97.

Rumora et al. (2007) demonstraram que FB1 altera o equilíbrio redox celular, o que leva à ativação específica do tecido e à expressão de moléculas de sinalização sensíveis ao redox, em especial glutathionas. Estes autores evidenciaram aumento de 24% nas concentrações de GSH no fígado de ratos tratados com FB1 por 7 dias, entretanto, este aumento não foi evidenciado em 2 dias de exposição evidenciando que a expressão de glutathiona induzida por fumonisina é tempo dependente, como sugerem nossos dados.

A modulação co-dependente entre HSP70 e o sistema glutathiona já havia sido previamente relatada por Rokutan et al. (1996) por meio da sub-regulação de HSP70 mediada pela depleção de glutathiona. Quando avaliados sinergicamente nossos dados e a literatura, é possível propor um mecanismo de defesa ao desafio com FB envolvendo GPX e HSP70 como demonstrado na Fig. 3B.

Em nosso estudo, quando avaliados de forma conjunta, a expressão de HSP70 diminuiu e a expressão de GPX aumentou conforme o tempo de desafio aumentou, corroborando a hipótese de que a resposta ao desafio por fumonisinas em tilápia envolve resposta direta de HSP70 com modulação por GPX e, que esta resposta, é tempo-dose dependente. Não foram encontrados na literatura, entretanto, estudos que evidenciem esta relação HSP70-GPX em maior tempo de estresse, independente da fonte causadora, havendo necessidade de novos estudos.

5. Conclusão

O desafio com FB em alevinos de tilápia-do-Nilo afeta a expressão dos genes envolvidos no equilíbrio redox HSP70 e GPX, sendo inicialmente aumentada a expressão de HSP70 com retroalimentação positiva para GPX, e esta por sua vez promove resposta de retroalimentação negativa para HSP70 em maior tempo de desafio.

Referências

- Barbosa, G. O., Silva, J. A., Siqueira-Berti, A., Nishan, U., Rosa-Ribeiro, R., Oliveira, S. B., Bruni-Cardoso, A., 2019. Castration-induced prostate epithelial cell apoptosis results from targeted oxidative stress attack of M1142-macrophages. *Journal of cellular physiology*. <https://doi.org/10.1002/jcp.28544>
- Bhattacharjee, S., 2019. ROS and Oxidative Stress: Origin and Implication. In *Reactive Oxygen Species in Plant Biology* (pp. 1-31). Springer, New Delhi. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3941-3_1
- Bezuidenhout, S. C., Gelderblom, W. C., Gorst-Allman, C. P., Horak, R. M., Marasas, W. F., Spiteller, G., Vlegaar, R., 1988. Structure elucidation of the fumonisins, mycotoxins from *Fusarium moniliforme*. *Journal of the Chemical Society, Chemical Communications*, (11), 743-745. <https://doi.org/10.1039/C39880000743>
- Dellafiora, L., Galaverna, G., & Dall'Asta, C. (2018). Mechanisms of Fumonisin B1 Toxicity: A Computational Perspective beyond the Ceramide Synthases Inhibition. *Chemical research in toxicology*, 31(11), 1203-1212. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.8b00188>
- De Maio, A., 1999. Heat shock proteins: facts, thoughts, and dreams. *Shock (Augusta, Ga.)*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1097/00024382-199901000-00001>
- Fernández-Fernández, M. R., Gragera, M., Ochoa-Ibarrola, L., Quintana-Gallardo, L., Valpuesta, J. M., 2017. Hsp70—a master regulator in protein degradation. *FEBS letters*, 591(17), 2648-2660. <https://doi.org/10.1007/BF01487101>
- Flohe, L., 1971. Die glutathionperoxidase: enzymologie und biologische aspekte. *Klinische Wochenschrift*, 49(12), 669-683. <https://doi.org/10.1007/BF01487101>

Galvano, F., Campisi, A., Russo, A., Galvano, G., Palumbo, M., Renis, Barcellona, M. M. L., Perez-Polo, J. R., Vanella, A., 2002. DNA damage in astrocytes exposed to fumonisin B1. *Neurochemical research*, 27(4), 345-351. <https://doi.org/10.1023/A:1014971515377>

Gontijo A.M.M.C., Barreto R.E., Speit G., Reyes V.A.V., Volpato G.L., Salvadori D.M.F., 2003. Anesthesia of fish with benzocaine does not interfere with comet assay results. *Mutat. Res.* 534, 165–172. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(02\)00276-0](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(02)00276-0)

Khan, R. B., Phulukdaree, A., Chuturgoon, A. A., 2018. Fumonisin B1 induces oxidative stress in oesophageal (SNO) cancer cells. *Toxicon*, 141, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2017.12.041>

Kócsó, D. J., Szabó-Fodor, J., Mézes, M., Balogh, K., Ferenczi, S., Szabó, A., Kovács, M., 2018. Fumonisin B1 exposure increases Hsp70 expression in the lung and kidney of rats without inducing significant oxidative stress. *Acta Veterinaria Hungarica*, 66(3), 394-407. <https://doi.org/10.1556/004.2018.036>

Leal, M., Shimada, A., Ruíz, F., de Mejía, E. G., 1999. Effect of lycopene on lipid peroxidation and glutathione-dependent enzymes induced by T-2 toxin in vivo. *Toxicology Letters*, 109(1-2), 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(99\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(99)00062-4)

Livak, K. J., Schmittgen, T. D., 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2⁻ $\Delta\Delta$ CT method. *methods*, 25(4), 402-408. <https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>

Nelson, D.L., Cox, M.M., 2014. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 1328 p.

Rheeder, J. P., Marasas, W. F., Vismer, H. F., 2002. Production of fumonisin analogs by *Fusarium* species. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68(5), 2101-2105. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.5.2101-2105.2002>

Rokutan, K., Hirakawa, T., Teshima, S., Honda, S., Kishi, K., 1996. Glutathione depletion impairs transcriptional activation of heat shock genes in primary cultures of guinea pig gastric mucosal cells. *The Journal of clinical investigation*, 97(10), 2242-2250. <https://doi.org/10.1172/JCI118665>

Rumora, L., Domijan, A. M., Grubišić, T. Ž., Peraica, M., 2007. Mycotoxin fumonisin B1 alters cellular redox balance and signalling pathways in rat liver and kidney. *Toxicology*, 242(1-3), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2007.09.006>

Szabó, A., Fébel, H., Ali, O., & Kovács, M. (2019). Fumonisin B1 induced compositional modifications of the renal and hepatic membrane lipids in rats–Dose and exposure time dependence. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1652772>

Towner, R. A., Qian, S. Y., Kadiiska, M. B., & Mason, R. P. (2003). In vivo identification of aflatoxin-induced free radicals in rat bile. *Free Radical Biology and Medicine*, 35(10), 1330-1340. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2003.08.002>

Turner, P. C., Nikiema, P., Wild, C. P., 1999. Fumonisin contamination of food: progress in development of biomarkers to better assess human health risks. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 443(1-2), 81-93. [https://doi.org/10.1016/S1383-5742\(99\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S1383-5742(99)00012-5)

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., Telser, J., 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>

Visconti, A., Boenke, A., Doko, M. B., Solfrizzo, M., Pascale, M., 1995. Occurrence of fumonisins in Europe and the BCR—measurements and testing projects. *Natural toxins*, 3(4), 269-274. <https://doi.org/10.1002/nt.2620030419>

Wang, E., Norred, W. P., Bacon, C. W., Riley, R. T., Merrill, A. H., 1991. Inhibition of sphingolipid biosynthesis by fumonisins. Implications for diseases associated with *Fusarium moniliforme*. *Journal of Biological Chemistry*, 266(22), 14486-14490. <http://www.jbc.org/content/266/22/14486.full.pdf>

Yang, C.G.; Wang, X.L.; Tian, J.; Liu, W.; Wu F.; Jiang, M.; Wen, H. Evaluation of reference genes for quantitative real-time RT-PCR analysis of gene expression in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Gene*, 527:183–192, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.06.013>