

## EFEITO TÓXICO DO INSETICIDA FIPRONIL EM TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

## TOXIC EFFECT OF THE INSECTICIDE FIPRONIL ON NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

Leticia Margarete de Moliner<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0003-3673-8074>

Indiana Fernanda Barcarolli<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1420-0524>

Submetido: 27/02/2025 / Aprovado: 13/11/2025 / Publicado: 07/09/2026.

### Resumo

O fipronil é um inseticida fenilpirazol amplamente utilizado na agricultura e na medicina veterinária. Com o seu excessivo uso, o fipronil tem causado grande preocupação devido aos seus efeitos tóxicos no meio ambiente. O presente estudo tem por objetivo avaliar o impacto do fipronil na atividade das enzimas acetilcolinesterase (AChE), catalase (CAT) e glutathione-S-transferase (GST) em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os peixes foram expostos a diferentes concentrações de fipronil (0,0 - 0,064 mg/L) por 96 horas, e a atividade das enzimas foi analisada nos tecidos do cérebro, brânquias e fígado. Os resultados mostraram uma inibição significativa da AChE no cérebro, indicando interferência na neurotransmissão. A CAT foi inibida nos tecidos do cérebro e brânquias, enquanto o fígado mostrou ativação da enzima em concentrações baixas e inibição em concentrações mais altas. A atividade da GST aumentou no cérebro, mas não foram registradas alterações enzimáticas significativas entre o grupo controle e os grupos de tratamentos nos tecidos branquial e hepático. Conclui-se que o fipronil pode induzir estresse oxidativo e comprometer as funções fisiológicas em tilápias, com risco potencial para organismos aquáticos.

**Palavras-chave:** Biomarcadores; Ecotoxicologia aquática; Enzimas antioxidante.

### Abstract

Fipronil is a phenylpyrazole insecticide widely used in agriculture and veterinary medicine. Due to its excessive use, fipronil has raised significant concerns because of its toxic effects on the environment. The present study aims to evaluate the impact of fipronil on the activity of the enzymes acetylcholinesterase (AChE), catalase (CAT), and glutathione S-transferase (GST) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Fish were exposed to different concentrations of fipronil (0.0 - 0.064 mg/L) for 96 hours, and enzyme activity was analyzed in brain, gill, and liver tissues. The results showed a significant inhibition of AChE in the brain, indicating interference with

<sup>1</sup>Mestra em Ciências Ambientais. Ex-aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Ciências Agroveterinárias (Cav), Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc). Lages/SC. E-mail: leticia.mdemoliner@outlook.com.

<sup>2</sup>Doutora em Oceanografia Biológica. Professora, Centro de Ciências Agroveterinárias (Cav), Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc). Lages/SC. E-mail: indianara.barcaroli@udesc.br.



neurotransmission. CAT was inhibited in the brain and gill tissues, while the liver showed enzyme activation at low concentrations and inhibition at higher concentrations. GST activity increased in the brain, but no significant enzymatic changes were recorded between the control and treatment groups in the gill and liver tissues. It is concluded that fipronil may induce oxidative stress and impair physiological functions in tilapia, posing a potential risk to aquatic organisms.

**Keywords:** Biomarkers; Aquatic ecotoxicology; Antioxidant enzymes.

## 1. INTRODUÇÃO

O fipronil é um inseticida fenilpirazol que age inibindo os receptores de ácido gama-aminobutírico em insetos, sendo reconhecido como um agrotóxico de amplo espectro e alta eficácia, amplamente utilizado na agricultura. É empregado também na medicina veterinária para o controle e prevenção de infestações de ectoparasitas em animais de estimação e bovinos. Contudo, estudos têm ressaltado seus potenciais consequências ecotoxicológicas (Ardeshtir *et al.*, 2017; Eadie *et al.*, 2020b; Wang *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2021). Ademais, os agrotóxicos podem comprometer a qualidade da água e impactar organismos aquáticos, especialmente em ambientes sujeitos a fontes de contaminação antrópica. A presença de substâncias alóctones na água tem sido associada a alterações na comunidade biológica e à degradação ambiental (Teixeira *et al.*, 2024).

A utilização do fipronil para proteger plantações e animais está resultando em uma variedade de efeitos tóxicos em seres humanos e animais não-alvo. O aumento do uso desse composto tem gerado preocupação na população sobre os riscos ambientais e sanitários que ele representa. Portanto, é importante investigar os mecanismos de ação e os efeitos adversos do fipronil, visando proteger o meio ambiente de seus efeitos nocivos (Wang *et al.*, 2016). É essencial desenvolver métodos de detecção precoce desse inseticida para evitar a exposição excessiva, prevenir danos à saúde pública e mitigar os efeitos deletérios em organismos não-alvo (Trinh *et al.*, 2022).

O fipronil é frequentemente adsorvido em sedimentos nos ambientes aquáticos (Deiú *et al.*, 2021b), e devido ao amplo uso e seus efeitos tóxicos, ele se torna uma ameaça aos ambientes aquáticos, interferindo no desenvolvimento de espécies não-alvo e representando uma ameaça para os organismos aquáticos (Eadie *et al.*, 2020b). Este agrotóxico vem sendo detectado nos ambientes aquáticos próximos as regiões em que o agrotóxico foi aplicado (Eadie *et al.*, 2020a) e, em casos extremos, como em derramamento acidentais e uso ilegal de fipronil, podem resultar em altas concentrações do composto no meio ambiente (Wagner *et al.*, 2017).

Há evidências crescentes de que o fipronil pode causar diversos efeitos tóxicos em animais, incluindo efeitos hepatotóxicos, neurotóxicos, reprodutivos e citotóxicos em vertebrados. Estudos sugerem que o estresse oxidativo está relacionado a muitas das toxicidades induzidas pelo fipronil. No entanto, há poucas revisões que abordam a toxicidade deste composto com relação ao estresse oxidativo (Wang *et al.*, 2016). O fipronil atua como antagonista dos receptores de ácido gama aminobutírico nos peixes, resultando em uma superexcitação no sistema nervoso central e, consequentemente, em uma toxicidade relativamente alta para esses animais (Eadie *et al.*, 2020a).

Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito tóxico do fipronil sobre a atividade de três enzimas envolvidas na defesa antioxidante e na neurotransmissão de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*), uma espécie de peixe de grande importância econômica e ecológica. Para tanto, os peixes foram expostos ao fipronil por 96 h em condições controladas de laboratório, e as enzimas acetilcolinesterase (AChE), catalase (CAT) e glutatona-s-transferase (GST) foram analisadas nos tecidos do cérebro, brânquias e fígado.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local do estudo

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), localizado no Município de Lages, Santa Catarina, Brasil. A pesquisa recebeu aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais da Udesc (CEUA/Udesc), sob n. 4289260323. Para o estudo, foram utilizados peixes juvenis do espécime *Oreochromis niloticus*, obtidos em piscicultura da região, com massa de  $7,61 \pm 4,36$  g e comprimento de  $7,57 \pm 1,30$  cm.

### 2.2 Teste de toxicidade

Após um período de 36 dias de aclimação, os peixes foram submetidos aos testes de toxicidade aguda (96 h), distribuídos em aquários, sendo cada grupo composto por seis indivíduos. Durante o teste, o fotoperíodo foi mantido em 12 h de luz e 12 h de escuridão, com aeração constante, pH  $8,62 \pm 0,05$  e temperatura de  $28,00 \pm 0,32$  °C. Os peixes não foram alimentados e a água dos aquários não foi renovada durante o teste.

Para o experimento, foi utilizado um composto industrial contendo fipronil (2,5%) em diferentes concentrações para os grupos de teste. As concentrações utilizadas foram as seguintes: no grupo Controle (CTR), não foi adicionado fipronil (0,00 mg/L); no grupo fipronil 1 (F1), a concentração foi de 0,12 mg/L; no grupo fipronil 2 (F2), a concentração foi de 0,16 mg/L; no grupo fipronil 3 (F3), a concentração foi de 0,32 mg/L; e no grupo fipronil 4 (F4), a concentração foi de 0,64 mg/L.

Após o período do teste de toxicidade aguda, os peixes foram eutanasiados, e os tecidos cerebrais, branquiais e hepáticos foram coletados e armazenados sob refrigeração até a realização das análises enzimáticas.

### 2.3 Atividade da AChE

O método para a determinação da atividade da AChE fundamenta-se no trabalho de Ellman *et al.* (1961), que consiste na avaliação da taxa de produção de tiocolina. Esta análise foi realizada exclusivamente em tecido cerebral. Para a realização do ensaio, foram utilizados 100 µL de iodeto de acetilcolina como substrato, que reage com 100 µL do reagente de cor DTNB, 50 µL do homogeneizado de tecido e 2 mL de tampão fosfato monopotássico (0,1 M e pH 7,0). Após a mistura dos reagentes na cubeta, a absorbância foi medida a cada 30 segundos durante um período de 2 minutos, a um comprimento de onda de 412 nm.

### 2.4 Atividade da CAT

A determinação da atividade da catalase foi conduzida conforme a metodologia proposta por Beutler (1975), e os tecidos de brânquias, cérebro e fígado foram selecionados para análise. Foram empregados 20 µL das amostras de tecidos previamente homogeneizadas em tampão fosfato de potássio (1,0 M, pH=7,0), juntamente com 10 µL de peróxido de hidrogênio e 2 mL de solução tampão (Tris HCl 1M e EDTA 5 mM). A cinética da reação foi monitorada por espectrofotometria a um comprimento de onda de 240 nm, utilizando uma cubeta de quartzo de 4 mL.



## 2.5 Atividade da GST

A determinação da atividade da GST é baseada no método desenvolvido por Keen; Habig; Jakoby (1976), que consiste na complexação de glutatona reduzida com o substrato CNDB (1-cloro-2,4-dinitrobenzeno) que é catalisada pela GST presente na amostra. Para a realização do ensaio, foram adicionados 2 mL de tampão fosfato de potássio (0,1 M, pH 7,0), 20 µL de CDNB, 20 µL de GSH e 20 µL da amostra em uma cubeta de 4 mL. A leitura foi realizada em espectrofotômetro, em 340 nm.

## 2.6 Análise de proteína totais

Na análise de proteínas totais, empregou-se o método de biureto, no qual o reagente de biureto, composto por sulfato de cobre, citrato trissódico, carbonato de sódio e hidróxido de sódio, reage com as proteínas presentes na amostra, formando um complexo corado de cor azul, cuja intensidade é proporcional à concentração proteica da amostra. Esta etapa foi conduzida para as amostras de cérebro, brânquias e fígado. Em cubetas de 4 mL, adicionou-se 2 mL do reagente de biureto e 50 µL do homogeneizado das amostras, incluindo a preparação do padrão contendo 2 mL do reagente de biureto e 0,2 mL do reagente de cor, e o branco experimental com 2 mL do reagente de biureto. A leitura foi realizada em um espectrofotômetro a 545 nm, ajustando o zero com o branco.

## 2.7 Análise estatística

Os resultados são apresentados como média  $\pm$  erro padrão. A normalidade dos dados foi verificada utilizando o teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homogeneidade das variâncias foi avaliada por meio do teste de Levene. Posteriormente, para detectar possíveis diferenças entre os grupos, considerando um valor de  $p < 0,05$  como critério de significância, realizou-se a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para examinar as diferenças mínimas significativas entre as médias. Esse procedimento permitiu identificar quais médias diferem entre si, mantendo um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Nos casos em que os dados não apresentaram distribuição normal e/ou homogeneidade de variâncias, os dados foram transformados, conforme proposto por Box e Cox (1964). A análise estatística foi conduzida utilizando os softwares SAS e R Studio.

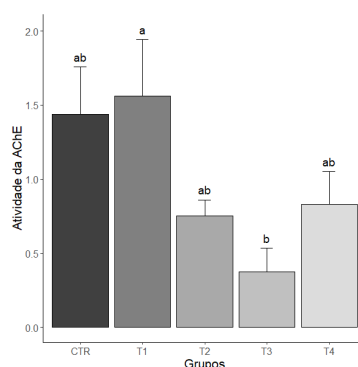
# 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Atividade da AChE

A exposição ao fipronil resultou em alterações estatisticamente significativas na atividade da AChE no cérebro da tilápia do Nilo (Figura 1). No grupo T3, observou-se uma inibição significativa da atividade enzimática da AChE em comparação com o grupo T1. Embora não tenha sido detectada uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos expostos ao fipronil e o grupo controle, é possível notar uma tendência de inibição da atividade da AChE à medida que aumentam as concentrações de fipronil nos aquários.

**Figura 1:** Atividade da AChE no cérebro de *Oreochromis niloticus* após a exposição ao fipronil no período de 96 h.





Nota: Atividade da AChE em  $\mu\text{mol.mg proteína}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Letras diferentes diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) e letras iguais não apresentam diferença estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

Situação similar ao presente estudo ocorreu no experimento realizado por Moreira *et al.* (2021) que observaram que a atividade da AChE em peixe-zebra (*Danio rerio*) diminuiu significativamente sob efeito das maiores concentrações de fipronil. Deíú *et al.* (2021b) também constataram que o fipronil promoveu estresse oxidativo em *Prochilodus lineatus*, evidenciado pela diminuição da atividade cerebral da AChE, bem como ocorreu a diminuição significativa da capacidade antioxidante. Em tilápia do Nilo, a atividade cerebral da AChE foi inibida significativamente após a exposição de 96 h ao fipronil na concentração de 0,1 mg/L (Freitas, 2020).

No estudo realizado por Ignácio (2018), o fipronil causou altas taxas de inibição da atividade da AChE no cérebro (aproximadamente 70%) de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e de tilápia. As concentrações de fipronil utilizadas chegaram a 0,61 mg/L para o pacu e a 0,15 mg/L para a tilápia, resultando em até 50% de mortalidade da amostra.

Em carpas expostas ao fipronil, a atividade da AChE no cérebro e músculo do espécime diminuiu significativamente (Menezes *et al.*, 2016). Em *P. lineatus*, a atividade cerebral da AChE foi inibida significativamente após a exposição de fipronil na maior concentração (100  $\mu\text{g/L}$ ) (Deíú *et al.*, 2021a).

Após 15 dias de exposição ao fipronil, a atividade da AChE diminuiu 47% em relação ao controle no cérebro de alevinos de *Cyprinus carpio* (Gupta *et al.*, 2014). Quando a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) foi exposta ao fipronil, a atividade da AChE no cérebro foi inibida, sendo que a inibição aumentou conforme crescia a concentração do fipronil (Uçar *et al.*, 2021b).

Resultados diferentes ao experimento em questão foi registrado em *Hyphessobrycon eques*. Sob o efeito do fipronil, não foram observadas alterações significativas na atividade da AChE quando comparada ao grupo controle (Moreira *et al.*, 2021). A atividade cerebral da AChE em *Pseudorasbora parva* não sofreu diferença significativa após a exposição do fipronil (LI *et al.*, 2020). A atividade da AChE no cérebro de jundiá (*Rhamdia cf. quelen*) também não sofreu alterações significativas sob efeito do fipronil (Menezes *et al.*, 2016).

Ademais, há registro de ativação da atividade enzimática, como observado no estudo realizado por Sanahuja *et al.* (2020), no qual a atividade da AChE no cérebro de *Dicentrarchus labrax* aumentou após a exposição de 14 dias ao fipronil, assim como após o período de depuração de 7 dias. No músculo de *Danio rerio*, a atividade da AChE também foi aumentada após a exposição ao fipronil (Viana *et al.*, 2022).

Diante dos resultados encontrados no presente estudo e comparando-os com a literatura, observa-se que o fipronil atua predominantemente como inibidor da atividade da AChE em diversas espécies de peixes, como a tilápia do Nilo, peixe zebra, pacu, carpa e truta, refletindo um



efeito neurotóxico significativo. A inibição da atividade da AChE pode comprometer a neurotransmissão, resultando em disfunções neurológicas e fisiológicas, o que reforça os potenciais riscos ecológicos desse inseticida para organismos aquáticos, especialmente em ambientes contaminados por concentrações elevadas.

### 3.2 Atividade da CAT

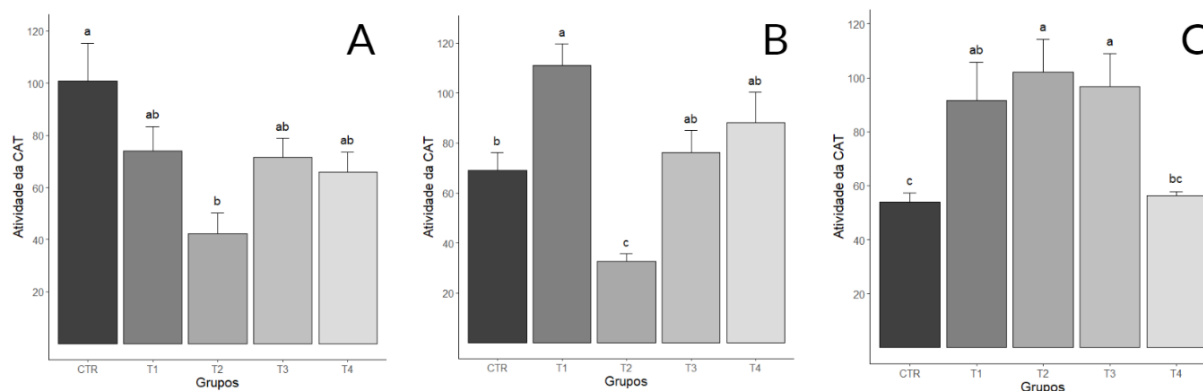
A exposição ao fipronil provocou alterações estatisticamente significativas na atividade da CAT em todos os tecidos analisados – cérebro, brânquias e fígado, evidenciando o impacto do inseticida nessa atividade enzimática.

No cérebro da tilápia do Nilo (Figura 2 - A), observou-se uma inibição da atividade enzimática no grupo T2 em comparação com o grupo controle. Embora a diferença entre os tratamentos não tenha sido estatisticamente significativa, há uma tendência de inibição da atividade da CAT cerebral em todas as concentrações testadas em relação ao controle.

Nas brânquias, o grupo T2 apresentou uma inibição da atividade da CAT em relação aos demais grupos, enquanto no grupo T1, em comparação ao controle, verificou-se uma ativação da atividade enzimática (Figura 2 - B).

No fígado de tilápia do Nilo (Figura 2 - C), houve uma ativação significativa da atividade da catalase nos grupos T1, T2 e T3 em comparação com o controle. No entanto, no grupo T4, foi constatada uma inibição significativa da atividade enzimática da CAT em relação aos grupos T2 e T3.

**Figura 2:** Atividade da CAT no cérebro, brânquias e fígado de *Oreochromis niloticus* após a exposição ao fipronil no período de 96 h.



Nota: Atividade da CAT ( $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$  metabolizado  $\cdot \text{mg}$  de proteína $^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) no cérebro (A), brânquias (B) e fígados (C) de *Oreochromis niloticus* exposta ao fipronil por 96 h. Letras diferentes diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) e letras iguais não apresentam diferença estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

Referente ao tecido cerebral, comportamento semelhante ao presente estudo foi constatado em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) expostas ao fipronil em quatro concentrações (0,0; 0,05; 0,1 e 0,2 mg/L). Nessas condições, em comparação ao grupo controle, ocorreu a inibição significativa da atividade cerebral da CAT em todas as concentrações, com a inibição aumentando paralelamente ao aumento da concentração de fipronil (Uçar *et al.*, 2021b). Por outro lado, a atividade da CAT de corpo inteiro em peixe zebra permaneceu inalterada após a exposição ao fipronil por um período de 96 h (VIANA *et al.*, 2022).

Resultado correlativo à atividade branquial da CAT encontrado no estudo em questão também foi constatado por Uçar *et al.* (2020), que investigaram o efeito da exposição ao fipronil

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.6365>

V. 23, N. 1 (2026)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

por 96 h (0,05; 0,1 e 0,2 mg/L) em truta arco-íris, e observaram a inibição da atividade da CAT nas brânquias à medida que a dose do inseticida aumentava. Da mesma forma, Viana *et al.* (2022) relataram uma diminuição significativa na atividade da CAT nas brânquias de peixes-zebra expostos ao fipronil.

Já a atividade da catalase nas brânquias de *C. carpio* não sofreu alterações significativas quando exposta ao fipronil (Gupta *et al.*, 2014), sendo que nas brânquias de *P. lineatus*, a atividade da CAT após a exposição ao fipronil também não apresentou mudanças significativas quando comparada ao grupo controle (Portruneli *et al.*, 2021). A atividade da CAT em brânquias de tilápia do Nilo não foi alterada após a exposição ao fipronil por 96 h (Freitas, 2020).

No tocante à atividade da CAT no fígado, em linha com o presente estudo, a atividade hepática da catalase em trutas arco-íris foi inibida à medida que a concentração de fipronil aumentava (Uçar *et al.*, 2020). Em carpas expostas ao fipronil, a atividade hepática da catalase foi inibida em 41% aos 7 dias, em 62% aos 30 dias e em 94% aos 90 dias em comparação ao controle (Clasen *et al.*, 2012). Da mesma forma, El-Murr *et al.* (2016) observaram uma diminuição significativa na atividade da CAT no fígado de carpa comum após a exposição ao fipronil.

Essa tendência foi identificada também em peixes da espécie *C. carpio* expostos ao fipronil em condições de campo de arroz por 7, 30 e 90 dias. A concentração detectável de fipronil foi visível até 45 dias após a aplicação, sendo que a atividade da catalase no fígado foi inibida durante todo o período de exposição. Neste estudo, Clasen *et al.* (2012) observaram que a exposição ao fipronil induziu estresse oxidativo nos peixes e alterações nos parâmetros bioquímicos em diferentes tecidos da carpa comum, embora não tenham sido detectadas mudanças significativas no crescimento ou na sobrevivência da espécie.

Em contrapartida, a atividade hepática da CAT em *D. labrax* não apresentou alterações significativas em duas temperaturas (13 e 18 °C) após a exposição ao fipronil, mas diminuiu significativamente após 7 dias de depuração (Dallarés *et al.*, 2020). Em tilápia do Nilo expostas ao fipronil por 96h, não foi identificado diferença significativa na atividade hepática da CAT (Freitas, 2020).

Já no estudo realizado por Gupta *et al.* (2014), no fígado de *C. carpio*, a atividade da catalase aumentou após a exposição ao fipronil.

### 3.3 Atividade da glutathione-S-transferase

A atividade da GST no cérebro da tilápia do Nilo apresentou diferenças estatisticamente significativas (Figura 3 - A). Notou-se um aumento significativo da atividade enzimática no grupo T1 em comparação com o controle. Embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas nas concentrações T2, T3 e T4, há uma tendência de declínio na atividade da GST com o aumento da concentração de fipronil.

Nas brânquias e fígado da tilápia do Nilo, a atividade da GST também sofreu diferença estatisticamente significativa sob exposição ao fipronil, porém não ocorreu mudanças significativas entre o grupo controle com os tratamentos.

Referente ao tecido branquial, no grupo T2 houve uma ativação enzimática da GST em comparação ao T1 (Figura 3 – B). Já no fígado da tilápia do Nilo, ocorreu a inibição enzimática do grupo T4 quando comparada ao grupo T1 (Figura 3 – C).

O aumento da atividade enzimática da GST, conforme observado no tecido cerebral da tilápia do Nilo deste estudo, também foi observada em peixe zebra, no qual a atividade da GST de corpo inteiro foi ativada sob efeito do fipronil (Viana *et al.*, 2022). Já no estudo conduzido por Wu *et al.* (2014), que analisou o efeito do fipronil em juvenis de peixe zebra em concentrações de 2, 4 e 20 µg/L, a atividade cerebral da GST não sofreu alterações significativas sob o efeito do fipronil.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.6365>

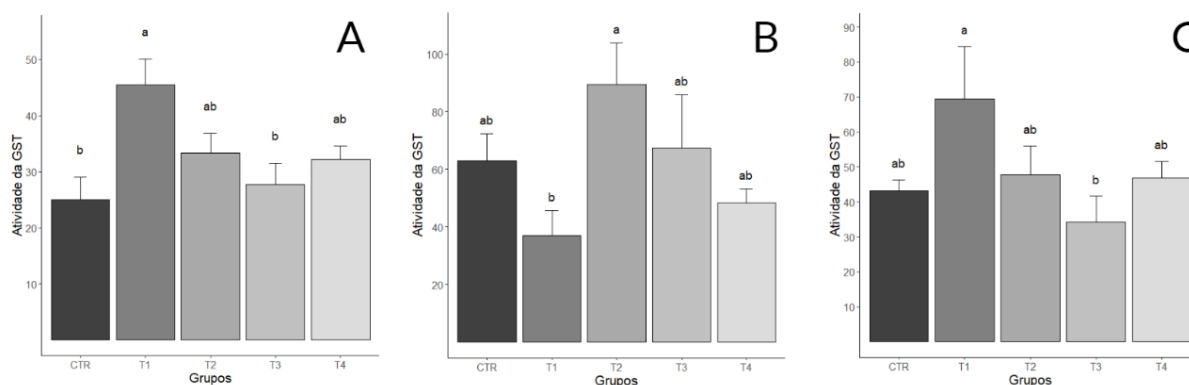
V. 23, N. 1 (2026)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Atinente à atividade branquial da GST, efeito semelhante ao caso em tela foi observado nas brânquias de *P. lineatus*, onde a atividade da GST foi ativada sob efeito do fipronil quando comparada ao grupo controle (Portruneli *et al.*, 2021). A atividade da GST também foi ativada nas brânquias de peixe zebra sob o efeito de fipronil (Viana *et al.*, 2022).

**Figura 3:** Atividade da GST no cérebro, brânquias e fígado de *Oreochromis niloticus* após a exposição ao fipronil no período de 96 h.



Nota: Atividade da GST (mmol CDNB conjugado.mg proteína<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) no cérebro (A), brânquias (B) e fígados (C) de *Oreochromis niloticus* exposta ao fipronil por 96 h. Letras diferentes diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) e letras iguais não apresentam diferença estatisticamente ( $p > 0,05$ ).

Em contrapartida, em outras espécies, não foram observadas alterações estatisticamente significativas na atividade enzimática da GST sob exposição ao fipronil. Nas brânquias de carpa, a atividade da GST não sofreu alteração significativa durante a exposição ao fipronil (Menezes *et al.*, 2016). Da mesma forma, a atividade da GST nas brânquias de peixe zebra não foi significativamente afetada pela exposição ao fipronil (WU *et al.*, 2014). No caso das brânquias de jundiá, não foram observadas interferências significativas na atividade da GST, porém, no músculo, houve inibição enzimática da GST (Menezes *et al.*, 2016). Além disso, em brânquias de tilápia do Nilo, não foram encontradas diferenças significativas na atividade da GST após a exposição ao inseticida fipronil (Freitas, 2020).

No que diz respeito à atividade da GST no fígado, comportamento semelhante ao presente estudo também foi verificado em tilápias do Nilo, onde a atividade hepática da GST não sofreu modificações sob efeito da exposição ao fipronil (Freitas, 2020). A atividade hepática da GST em peixes zebra não sofreu alterações significativas sob a exposição de fipronil (WU *et al.*, 2014). No fígado de *C. carpio*, a atividade da GST não apresentou diferenças significativas aos 7, 30 e 90 dias de exposição ao fipronil (Clasen *et al.*, 2012). Ainda, no fígado de *P. parva*, não foi detectado diferença significativa na atividade da GST sob efeito do fipronil (Li *et al.*, 2020).

A atividade hepática da GST em jundiás foi inibida após a exposição ao fipronil (Menezes *et al.*, 2016). Também foi observada uma diminuição significativa na atividade da GST no fígado de carpa comum após a exposição ao fipronil (El-Murr *et al.*, 2016). Uçar *et al.* (2021a) analisaram a atividade da catalase no tecido sanguíneo de truta arco-íris e observaram a inibição da atividade da CAT sob a exposição do fipronil.

Todavia, a atividade da GST no fígado de carpa foi ativada sob a exposição de fipronil (Menezes *et al.*, 2016). Em *D. labrax*, a atividade da GST no fígado de aumentou

significativamente após 14 dias de exposição ao fipronil e após 7 dias de depuração, não havendo diferença significativa após 7 dias sob efeito do fipronil (Dallarés *et al.*, 2020).

Assim, nota-se que, embora a exposição ao fipronil por 96 horas em tilápia do Nilo não tenha provocado alteração na atividade enzimática da GST hepática no presente estudo, diversos estudos indicam alterações significativas da GST em outras espécies de peixes, o que ressalta a importância de investigar mais profundamente as variáveis que influenciam a resposta da GST à exposição ao fipronil em diferentes espécies e cenários.

#### 4. CONSIDERAÇÕES

Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que a exposição ao fipronil induz estresse oxidativo em tilápias do Nilo, afetando de forma significativa as atividades enzimáticas relacionadas à defesa antioxidante e à neurotransmissão. Observou-se uma significativa inibição da atividade cerebral da AChE devido ao fipronil, sugerindo uma possível interferência na transmissão colinérgica, o que pode levar a disfunções neurológicas. Foram detectadas alterações estatisticamente significativas da atividade da CAT em todos os tecidos analisados, com inibição no cérebro e brânquias, indicando comprometimento da capacidade antioxidante dessas regiões. Já a atividade da GST foi aumentada no cérebro, refletindo uma possível resposta compensatória ao estresse oxidativo causado pelo inseticida.

Sob uma perspectiva ecológica, os efeitos bioquímicos observados sugerem que o fipronil pode comprometer funções celulares essenciais à homeostase e à integridade fisiológica das tilápias, potencialmente afetando sua capacidade de adaptação a ambientes contaminados. Tais respostas em nível molecular e enzimático podem ser consideradas indicadores precoces de estresse ambiental, representando ferramenta relevante para o monitoramento da qualidade da água e da saúde de organismos aquáticos expostos a agrotóxicos.

Assim, os resultados encontrados confirmam o potencial tóxico do fipronil para a tilápia do Nilo, podendo afetar seu desempenho fisiológico e comportamental. O inseticida, portanto, apresenta riscos consideráveis para organismos aquáticos não alvo, especialmente em ambientes contaminados por concentrações elevadas. Diante disso, recomenda-se que o uso do fipronil seja conduzido com cautela, respeitando rigorosamente as normas de aplicação próximas a corpos hídricos, a fim de minimizar os impactos sobre os ecossistemas aquáticos.

Pesquisas futuras devem incluir análises histopatológicas, de modo a correlacionar as respostas bioquímicas observadas com possíveis alterações morfológicas em tecidos-alvo. Estudos integrando biomarcadores bioquímicos, histológicos e moleculares em diferentes períodos de exposição poderão fornecer uma visão mais abrangente dos mecanismos de toxicidade do fipronil e subsidiar avaliações ambientais mais robustas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e ao Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU), mantido pelo Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento do Ensino Superior (FUNDES), pelo apoio financeiro ao presente estudo.

#### 6. REFERÊNCIAS

ARDESHIR, Rashid A.; ZOLGHARNEIN, Hossein; MOVAHEDINIA, Abdolali; SALAMAT, Negin; ZABIHI, Ebrahim. Comparison of waterborne and intraperitoneal exposure to fipronil in



the Caspian white fish (*Rutilus frisii*) on acute toxicity and histopathology. **Toxicology Reports**, vol. 4, p. 348-357, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.06.010>

BEUTLER, Ernest. **Red cell metabolism: A manual of biochemical methods**. 2. ed. New York: Grune & Stratton, 1975. 160 p.

BOX, George E. P.; COX, David R. An Analysis of Transformations. **Journal of Royal Statistical Society, Series B**, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.

CLASEN, Bárbara; LORO, Vania L.; CATTANEO, Roberta; MORAES, Bibiana; LÓPES, Thais; AVILA, Luis A.; ZANELLA, Renato; REIMCHE, Geovane B.; BALDISSEROTTO, Bernardo. Effects of the commercial formulation containing fipronil on the non-target organism *Cyprinus carpio*: Implications for rice-fish cultivation. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 77, p. 45-51, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.10.001>

DALLARÉS, Sara; DOURADO, Priscila; SANAHUJA, Ignasi; SOLOVYEV, Mikhail; GISBERT, Enric; MONTEMURRO, Nicola; TORREBLANCA, Amparo; BLÁZQUEZ, Mercedes; SOLÉ, Montserrat. Multibiomarker approach to fipronil exposure in the fish *Dicentrarchus labrax* under two temperature regimes. **Aquatic Toxicology**, v. 219, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105378>

DEIÚ, Antonela S.; ONDARZA, Paola M.; MIGLIORANZA, Karina S. B.; DE LA TORRE, Fernando R. Exposure to environmental concentrations of fipronil induces biochemical changes on a neotropical freshwater fish. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 43872-43884, 2021a. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104876>

DEIÚ, Antonela S.; MIGLIORANZA, Karina S. B.; ONDARZA, Paola M.; DE LA TORRE, Fernando R. Multibiomarker responses and bioaccumulation of fipronil in *Prochilodus lineatus* exposed to spiked sediments: Oxidative stress and antioxidant defenses. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 177, 2021b. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13786-w>

EADIE, Ashley; VÁSQUEZ, Isabel C.; LIANG, Xuefang; WANG, Xiaohong; SOUDERS II, Christopher L.; EL CHEHOURI, Jana; HOSKOTE, Rohit; FESWICK, April; COWIE, Andrew M.; LOUGHERY, Jennifer R.; MARTYNIUK, Christopher J. Transcriptome network data in larval zebrafish (*Danio rerio*) following exposure to the phenylpyrazole fipronil. **Data in Brief**, v. 33, 2020a. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106413>

EADIE, Ashley; VÁSQUEZ, Isabel C.; LIANG, Xuefang; WANG, Xiaohong; SOUDERS II, Christopher L.; EL CHEHOURI, Jana; HOSKOTE, Rohit; FESWICK, April; COWIE, Andrew M.; LOUGHERY, Jennifer R.; MARTYNIUK, Christopher J. Residual molecular and behavioral effects of the phenylpyrazole pesticide fipronil in larval zebrafish (*Danio rerio*) following a pulse embryonic exposure. **Comparative Biochemistry and Physiology - Part D**, v. 36, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2020.100743>

ELLMAN, George L.; COURTNEY, K. Diane; ANDRES JR., Valentino; FEATHERSTONE, Robert M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochemical Pharmacology**, v. 7, p. 88-95, 1961.



EL-MURR, Abdelhakeem; ALI, Haytham A.; ELGAML, Shima A.; HASHISH, Emad A. The  $\beta$ -1,3-glucan alleviated the hepatotoxicity induced by combination of fipronil and lead in common carp (*Cyprinus carpio*). **Comp Clin Pathol**, v. 25, p. 689-697, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00580-016-2249-6>

FREITAS, Thiago R. **Efeitos da exposição ao roundup® e ao fipronil em biomarcadores bioquímicos em *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages. 2020.

GUPTA, S. K.; PAL, A. K.; SAHU, N. P.; SAHARAN, N.; PRAKASH, Chandra; AKHTAR, M. S.; KUMAR, Sikendra. Haemato-biochemical Responses in *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) Fry Exposed to Sub-lethal Concentration of a Phenylpyrazole Insecticide, Fipronil. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 84, n. 1, p. 113-122, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0201-y>

IGNÁCIO, Naiara Fernanda. **Recuperação de alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e tilápia (*Oreochromis niloticus*) sobreviventes à intoxicação com fipronil**. 2018. Tese (Doutorado em Biociências) – Centro de Aquicultura da UNESP, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

KEEN, James H.; HABIG, William H.; JAKOBY, William B. Mechanism for the several activities of the glutathione s-transferases. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 251, n. 20, p. 6183-6188, 1976.

LI, Huixian; ZHANG, Ruiqing; SUN, Fuhong; ZHANG, Yahui. Evaluation of toxicological responses and promising biomarkers of topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) exposed to fipronil at environmentally relevant levels. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 24081-24089, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08555-0>

MENEZES, Charlene; LEITEMPERGER, Jossiele; MURUSSI, Camila; VIERA, Mariela de Souza; ADAIME, Martha B.; ZANELLA, Renato; LORO, Vania Lucia. Effect of diphenyl diselenide diet supplementation on oxidative stress biomarkers in two species of freshwater fish exposed to the insecticide fipronil. **Fish Physiol Biochem**, v. 42, p. 1357-1368, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0223-5>

MOREIRA, Raquel A.; ARAÚJO, Cristiano V. M.; PINTO, Thandy J. S.; SILVA, Laís C. M.; GOULART, Bianca V.; VIANA, Natália P.; MONTAGNER, Cassiana C.; FERNANDES, Marisa N.; ESPÍNDOLA, Evaldo L. G. Fipronil and 2,4-D effects on tropical fish: Could avoidance response be explained by changes in swimming behavior and neurotransmission impairments? **Chemosphere**, v. 263, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127972>

PORTRUNELI, Natália; BONANSEA, Rocío I.; VALDÉS, Maria E.; SILVA, Laís C. M.; VIANA, Natália P.; GOULART, Bianca V.; SOUZA, Iara da C.; ESPÍNDOLA, Evaldo L. G.; MONTAGNER, Cassiana C.; WUNDERLIN, Daniel A.; FERNANDES, Marisa N. Whole-body bioconcentration and biochemical and morphological responses of gills of the neotropical fish *Prochilodus lineatus* exposed to 2,4-dichlorophenoxyacetic acid or fipronil individually or in a mixture. **Aquatic Toxicology**, v. 240, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105987>

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.6365>

V. 23, N. 1 (2026)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

SANAHUJA, Ignasi; DALLARÉS, Sara; IBARZ, Antoni; SOLÉ, Montserrat. Multi-organ characterisation of B-esterases in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): Effects of the insecticide fipronil at two temperatures. **Aquatic Toxicology**, v. 228, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105617>

TEIXEIRA, Maria G.; OLIVEIRA, Adelaide S.; PEREIRA, Francisco M. O.; SOUZA, Jardielen C.; RODRIGUES, Edmo M. Influência da urbanização na caracterização físico-química e microbiológica em ambientes lênticos de Camocim/CE. **Acta Ambiental Catarinense – Unochapecó**, v. 21, n. 1, 2024. <https://doi.org/10.24021/raac.v21i1.7189>

TRINH, Kien H.; KADAM, Ulhas S.; RAMPOGU, Shailima; CHO, Yuhan; YANG, Kyung-Ae; KANG, Chang H.; LEE, Keun-Woo; LEE, Kyun Oh; CHUNG, Woo S.; HONG, Jong C. Development of novel fluorescence-based and label-free noncanonical G4-quadruplex-like DNA biosensor for facile, specific, and ultrasensitive detection of fipronil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 427, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127939>

UÇAR, Arzu; PARLAK, Veysel; YELTEKIN, Aslı Ç.; ÖZGERİŞ, Fatma B.; ÇAĞLAR, Özge; TÜRKER, Hasan; ALAK, Gonca; ATAMANALP, Muhammed. Assesment of hematotoxic, oxidative and genotoxic damage potentials of fipronil in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, Walbaum. **Toxicology mechanisms and methods**, v. 31, n. 1, p. 73-80, 2021a. <https://doi.org/10.1080/15376516.2020.1831122>

UÇAR, Arzu; PARLAK, Veysel; ÖZGERİŞ, Fatma B.; YELTEKIN, Aslı Ç.; ALAK, Gonca; ATAMANALP, Muhammed. Determination of Fipronil toxicity by different biomarkers in gill and liver tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Animal**, v. 56, p. 543-549, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11626-020-00480-3>

UÇAR, Arzu; ÖZGERİŞ, Fatma B.; PARLAK, Veysel; YELTEKIN, Aslı Ç.; KOCAMAN, Esat M.; ALAK, Gonca; ATAMANALP, Muhammed. Neurotoxic responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to fipronil: multi-biomarker approach to illuminate the mechanism in brain. **Drug and Chemical Toxicology**, v. 45, n. 5, p. 2140-2145, 2021b. <https://doi.org/10.1080/01480545.2021.1908751>

VIANA, Natália P.; SILVA, Laís C. M.; PORTRUNELI, Natália; SOARES, Michelly P.; CARDOSO, Israel L.; BONANSEA, Rocío I.; GOULART, Bianca V.; MONTAGNER, Cassiana C.; ESPÍNDOLA, Evaldo L. G.; WUNDERLIN, Daniel A.; FERNANDES, Marisa N. Bioconcentration and toxicological impacts of fipronil and 2,4-D commercial formulations (single and in mixture) in the tropical fish, *Danio rerio*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 11685-11698, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16352-6>

WAGNER, Scott D.; KUROBE, Tomofumi; HAMMOCK, Bruce G.; LAM, Chelsea H.; WU, Gary; VASYLIEVA, Natalia; GEE, Shirley J.; HAMMOCK, Bruce D.; TEH, Swee J. Developmental effects of fipronil on Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) embryos. **Chemosphere**, n. 166, p. 511-520, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.069>

WANG, Xu; MARTÍNEZ, María A.; WU, Qinghua; ARES, Irma; MARTÍNEZ-LARRAÑAGA, María R.; ANADÓN, Arturo; YUAN, Zonghui. Fipronil insecticide toxicology: oxidative stress



and metabolism. **Critical reviews in toxicology**, v. 46, n. 10, p. 876-899, 2016.  
<http://dx.doi.org/10.1080/10408444.2016.1223014>

WU, Chung-Hsin; LU, Chen-Wen; HSU, Tai-Hsuan; WU, Wen-Jhen; WANG, Sheue-Er. Neurotoxicity of fipronil affects sensory and motor systems in zebrafish. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 17, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104896>

WU, Haihua; GAO, Cuie; GUO, Yaping; ZHANG, Yuping; ZHANG, Jianzhen; MA, Enbo. Acute toxicity and sublethal effects of fipronil on detoxification enzymes in juvenile zebrafish (*Danio rerio*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 115, p. 9-14, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.07.010>

