Avaliação de efeitos danosos à planta *Vetiveria zizanióides* (Capim Vetiver) causados por Atrazina para aplicações em tratamento de águas residuárias

Damage effect evaluation in Vetiveria zizanioides *by atrazine to wastewater treatments applications*

Data de entrada: 27/08/2021
Data de aprovação: 18/12/2024

Anne Alessandra Cardoso Neves[1]* | Carina Pereira Cotta[1] | Ubaldo Martins das Neves[1] | Thales Augusto de Miranda Medeiros[1]

DOI: https://doi.org/10.36659/dae.2025.080

Neves AAC https://orcid.org/0000-0002-9422-3699
Cotta CP https://orcid.org/0000-0003-2481-1556
Neves UM https://orcid.org/0000-0001-6464-1876
Medeiros TAM https://orcid.org/0000-0001-9648-0798

Resumo

A demanda por alimento motiva o uso maior de substâncias como o herbicida Atrazina, utilizado na cultura de milho no Brasil. A Atrazina pode contaminar corpos hídricos, dissipando sua toxicidade aos diferentes níveis da cadeia alimentar. Este trabalho avaliou os efeitos danosos à planta *Vetiveria zizanióides* causados por Atrazina para aplicações em tratamento de águas residuárias. Foram investigadas interferências à planta cultivada em meio contaminado por Atrazina em diferentes concentrações: 0 mg/L; 0,002 mg/L; 0,02 mg/L; 0,2 mg/L; 2,0 mg/L; e 20,0 mg/L. Análises histoquímicas constataram que quanto maior a concentração do herbicida a que a planta foi exposta, maior a presença do peróxido de hidrogênio e maior a detecção de morte celular. A análise de biomassa determinou aumento em amostras para diferentes concentrações de Atrazina, com crescimento de raiz e folha, constatando o potencial de tolerância da planta ao estresse submetido e, portanto, sua capacidade de atuar como protagonista em tratamentos de águas residuárias por meio de fitorremediação.

Palavras-chave: Tratamento de águas residuárias. Atrazina. Capim Vetiver.

Abstract

Demand for food motivates the greater use of substances such as the herbicide atrazine, used for corn crops in Brazil. Atrazine can contaminate waters by dissipating their toxicity to different levels of the food chain. This study evaluated damage effects in Vetiveria zizanioides *by atrazine to wastewater treatment applications. The interferences to plant grown by atrazine were investigated in different concentrations: 0, 0.002, 0.02, 0.2, 2.0, and 20.0 mg/L. Histochemical analyses showed that the higher herbicide concentration to which the plant is exposed, the greater hydrogen peroxide presence and the greater cell death detection. Biomass analysis determined increase in samples for different atrazine concentrations, including root and leaf growth, finding the plant tolerance potential to the stress it had been subjected and, therefore, its ability to act as protagonists in wastewater treatments via phytoremediation.*

Keywords: *Wastewater treatments; Atrazine; Vetiver Grass.*

[1] Universidade Federal de São Carlos – Buri – São Paulo – Brasil.
* **Autor correspondente:** anne@ufscar.br

CC BY NC

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem apresentado excelentes safras, fruto do seu clima favorável combinado a novas tecnologias providas pela indústria, aspectos que colocam o país como um importante contribuinte para atender à crescente demanda interna e externa por alimentos, fibras e energia (Rodrigues, 2023).

As tendências do agronegócio brasileiro são delineadas conforme as projeções para o biênio de 2029/2030, as quais indicam um acréscimo de 33% para a safra de grãos em relação à safra de 2016/2017. Entre os grãos com maior ganho de produção, o milho se apresenta como uma das culturas que mais deve ganhar área. Na safra de 2016/2017, a produção mundial de milho bateu recorde, com 1,075 bilhão de toneladas, a qual, devido a acréscimos na produtividade, está projetada para crescer globalmente quase 13,5% na próxima década. O Brasil se destaca entre os produtores e contribuirá abastecendo 23,7% do mercado mundial de milho (Rodrigues, 2023).

O crescimento da produção para os próximos anos apresenta como principal fator impulsionador a produtividade (Rodrigues, 2023). Dessa forma, na busca por traçar novas estratégias que maximizem a produção, a agricultura tem optado cada vez mais pelo uso de insumos agrícolas, como os agrotóxicos e fertilizantes químicos (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, 2018; Lopes; Contini, 2012). Entre os agrotóxicos mais utilizados na cultura do milho, destaca-se o herbicida Atrazina, pertencente ao grupo s-triazina e bastante utilizado como herbicida pré e pós-emergência para o controle de gramíneas e ervas daninhas (Albuquerque *et al.*, 2020). Esse herbicida tem como característica meia-vida longa e solubilidade aquosa moderada de 30 mg/L, o que o torna um contaminante persistente e frequentemente encontrado em ambientes aquáticos em altas concentrações de até 30 µg/L (Carmo *et al.*, 2013; Cerejeira *et al.*, 2003; Taverna *et al.*, 2018).

Os efeitos negativos associados à presença de Atrazina no ambiente aquático para a biota são enormes (Canuto *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2018), tornando-se necessário que estratégias confiáveis e eficientes, com a finalidade de remover o herbicida de águas residuais ou sistemas aquáticos, sejam cada vez mais exploradas.

A fitorremediação é uma tecnologia que consiste em remediar impactos negativos ocasionados por uso de contaminantes químicos no meio ambiente, sendo caracterizada por um processo biológico em que plantas são usadas como agentes degradadores, extratores, que contenham ou imobilizem os poluentes presentes no ambiente (Mejía *et al.*, 2014; Moreira, 2006). A espécie vegetal *Vetiveria zizanióides* (L.) Nash, também conhecida como Capim Vetiver, apresenta características fisiológicas e morfológicas capazes de tornar essa planta promissora no processo de fitorremediação do herbicida Atrazina (Almeida, 2011; Danh *et al.*, 2009; Truong *et al.*, 2008), e, além disso, o Capim Vetiver se apresenta como sendo extremamente tolerante a diversos tipos de metais pesados e a variações de temperatura, pH e salinidade do solo (Danh *et al.*, 2009).

Assim, este trabalho teve como objetivo principal avaliar o potencial da espécie *Vetiveria zizanióides* (Capim Vetiver) no tratamento de águas residuárias por fitorremediação. Os objetivos específicos foram realizar análises histoquímicas, como presença de peróxido de hidrogênio e teste de detecção de morte celular, para avaliar o grau de impacto do herbicida sobre a planta. Além disso, objetivou-se, ainda, analisar biomassa e sintomatologia, para constatar possíveis injúrias em plantas.

Cabe ressaltar que a pesquisa desenvolvida pode auxiliar no monitoramento, de forma global, de parâmetros físicos, químicos e biológicos com a

finalidade de testar hipóteses de acúmulo de resíduos poluentes advindos de atividades agrícolas.

2 METODOLOGIA

A área de estudo está localizada no município de Buri, a 6 km da cidade de Campina do Monte Alegre, no sudoeste do estado de São Paulo. Trata-se de uma fazenda chamada Lagoa do Sino, inserida na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, uma das últimas bacias do estado e a mais preservada, com água de boa qualidade. A região é caracterizada por forte atividade agrícola, uma vez que apresenta solo fértil e grande disponibilidade de recursos hídricos.

A fazenda abriga o campus da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com uma área de aproximadamente 643 ha. Considerando sua vasta extensão, realiza produção intensiva com culturas predominantes, sendo milho, soja e trigo as que demandam grande quantidade de água, fertilizantes e agrotóxicos para produção. Atrelado a isso, na própria área do campus, encontra-se um sistema hídrico cujas nascentes se localizam no limite superior da área. Essas nascentes são interceptadas por sete barramentos artificiais formando lagoas, que são utilizadas, por meio de pivôs, para a irrigação. Desse modo, tornam-se necessários estudos de medidas mitigadoras para os possíveis impactos causados em ambientes aquáticos da fazenda, ocasionados pelas culturas supracitadas.

A obtenção dos exemplares de Capim Vetiver foi feita numa área de cultivo na própria UFSCar. No Laboratório de Processos Biológicos e Ambientais, do Centro de Ciências da Natureza (CCN-UFSCar), os perfílhos de 18 plantas de Vetiver foram separados e cortados com o mesmo tamanho (parte aérea: 10 cm; e raiz: 5 cm). Após passarem pela desinfecção em solução de hipoclorito a 1% e água destilada, as plantas foram transferidas para o meio hidropônico. As unidades experimentais foram constituídas de erlenmeyers de 250 mL com Capim Vetiver e suplementadas com solução nutritiva de Hoagland (Hoagland; Arnon, 1938). Procedeu-se a estabilização e adaptação das plantas à nova condição de ausência de solo, por um período de 30 dias, permitindo que, posteriormente, as plantas pudessem ser submetidas à aplicação de Atrazina e o ensaio fosse iniciado.

Assim, as 18 mudas de Vetiver selecionadas foram expostas às diferentes concentrações de Atrazina (grau de pureza 95%) – Pestanal®, sendo concentração 0 mg/L para as amostras 1, 2 e 3; 0,002 mg/L para as amostras 4, 5 e 6; 0,02 mg/L para as amostras 7, 8 e 9; 0,2 mg/L para as amostras 10, 11 e 12; 2,0 mg/L para as amostras 13, 14 e 15; e 20,0 mg/L para as amostras 16, 17 e 18 (Tabela 1). Cabe ressaltar que o tratamento controle (0 mg/L) recebeu somente a solução nutritiva. Foi utilizado um delineamento experimental totalmente casual, no qual foram realizadas três repetições para cada concentração do herbicida, além de série controle.

Tabela 1 – Mudas de Capim Vetiver expostas às diferentes concentrações de Atrazina.

Amostras	Concentração de Atrazina (mg/L)
1, 2 e 3	0
4, 5 e 6	0,002
7, 8 e 9	0,02
10, 11 e 12	0,2
13, 14 e 15	2,0
16, 17 e 18	20,0

Os erlenmeyers em que as plantas estavam submetidas à aplicação de Atrazina foram revestidos externamente com papel alumínio. Durante 28 dias, as amostras, com as raízes imersas na solução, foram controladas com constante verificação e completadas com água destilada, quando necessário, para manter o volume da solução. Durante esse período, foi realizada a sintomatologia visual das plantas expostas à

Atrazina, a partir dos sintomas visíveis de injúria na parte aérea das plantas, bem como a morte dos indivíduos.

Para a análise de biomassa, as plantas no início do experimento foram retiradas da solução, secas em papel absorvente e pesadas em balança analítica (Marte AD330), para se obter a massa fresca, e o mesmo procedimento foi repetido ao final do experimento, quando as amostras foram retiradas da solução.

Para analisar o acúmulo do peróxido de hidrogênio, fragmentos de folha fresca com aproximadamente 1 cm² foram coletados de cada uma das 18 mudas, retiradas a 1,5 cm partindo da raiz da muda. As amostras foram imersas em solução de 100 mg mL^{-1} de 3,3' – diaminobenzidina (dab)--HCL, (pH 5,6 ajustado com hidróxido de sódio) –, permanecendo incubadas sem a presença de luz por 8 horas. Em seguida, os fragmentos foram fervidos para serem clarificados. Essas amostras foram colocadas em álcool comum a 96% por aproximadamente 15 minutos, em uma temperatura de fervura de 100ºC (Iriti *et al.*, 2003). Após isso, foram montadas lamínulas em glicerina 50% para posterior contagem, sendo quantificado o número de plantas que apresentaram esse acúmulo. Avaliou-se o número de células que apresentaram a coloração marrom característica, considerando-se quatro classes: 1 (1-5 células coradas em marrom), 2 (6-10 células), 3 (11-15 células) e 4 (16-20 células), conforme proposto por Pedroso (2009).

Para determinar a morte celular, foram extraídos fragmentos de folhas frescas com, aproximadamente, 1 cm². Esses fragmentos foram fervidos por 1 minuto em um recipiente contendo a mistura de 25 mL de ácido lático, com 25 mL de fenol, 25 mL de glicerina e 25 mL de água destilada, os quais receberam 100 mg de Azul de Evans, que foi dissolvido em 10 mL de água (1:1:1) (Iriti *et al.*, 2003). Foram então clarificados em solução aquosa de 2% de hipoclorito de sódio reduzido 10x, por um período de 4 minutos (Menezes Neto; Guerra, 2019), e lamínulas montadas em glicerina 50% (Iriti *et al.*, 2003). As células mortas foram evidenciadas pela coloração azul, ao passo que as células sadias permaneceram transparentes, utilizando-se o mesmo padrão de quatro classes citado anteriormente (Pedroso, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sintomas visíveis de injúria na parte aérea das plantas expostas às diferentes concentrações de Atrazina e morte dos indivíduos foram registrados ao longo do experimento. Foi possível correlacionar os sintomas visualizados nas plantas com os resultados obtidos na análise histoquímica, tanto para a presença de peróxido de hidrogênio, como para a detecção de morte celular. Era esperado que as injúrias nas plantas 1, 2 e 3 expostas a 0,0 mg/L de Atrazina fossem menores, de modo que suas folhas se apresentassem mais verdes e sadias. Entretanto, ao analisar mais detalhadamente as raízes dessas amostras, apenas a planta 1 apresentou crescimento de raízes novas, sendo que as outras duas apresentaram praticamente morte total de raiz.

Um fator que pode ter contribuído para tal ocorrência seria a substituição de vidraria devido a fatores externos, já que foi necessário utilizar para essas três plantas erlenmeyers de 500 mL ocasionando a imersão parcial das raízes das plantas na solução nutritiva no início do experimento, diferentemente das demais que permaneceram em erlenmeyers de 250 mL. Por outro lado, as plantas 4, 5 e 6, que estavam expostas a uma concentração de 0,002 mg/L de Atrazina, apresentaram injúrias mínimas esperadas, uma vez que todas tiveram crescimento de raízes e das folhas verdes e sadias. Ainda assim, foi possível perceber que houve a presença de folha amarelada, o que pode ter relação com a pequena concentração de Atrazina. Acredita-se que esse processo seria o

esperado, pois, apesar de ter estado em solução nutritiva, ainda assim a planta não se encontrava em seu ambiente natural.

As plantas expostas a uma concentração de 0,02 mg/L de Atrazina (plantas 7, 8 e 9) apresentaram baixo crescimento da folha, apesar da boa aparência, e pouco crescimento de raízes novas. A planta 8 apresentou uma diferença significativa em suas folhas, e apenas na planta 9 não foi identificada nenhuma morte de raiz. As plantas 10, 11 e 12 estavam expostas à concentração de 0,2 mg/L de Atrazina. Em relação ao crescimento de raiz, nas plantas 10 e 11 houve pouquíssimo crescimento, enquanto que na planta 12 não houve nenhum. Para o crescimento e saúde das folhas, as três diferiram entre si, uma vez que na planta 10 as folhas, apesar de não terem crescido tanto, estavam verdes e saudáveis. Para a planta 11 houve praticamente morte, uma vez que ela secou e perdeu totalmente a clorofila. A planta 12 apresentou crescimento de suas folhas. As plantas 13, 14 e 15, que permaneceram expostas à concentração de 2,0 mg/L de Atrazina, apresentaram os seguintes comportamentos: a planta 13 apresentou forte crescimento de raiz, enquanto suas folhas, apesar de terem crescido, apresentavam aspecto amarelado. A planta 14, em contrapartida, teve tanto bom crescimento de raiz como também crescimento saudável da folha. Contudo, a planta 15, apesar de ter apresentado crescimento de raiz, perdeu algumas folhas que secaram, e as que resistiram apresentaram partes amareladas, embora tenham demonstrado certo crescimento.

Por fim, assim como sintomas inesperados foram vistos nas plantas sem concentração de Atrazina (plantas 1, 2 e 3), para as plantas 16, 17 e 18, que ficaram expostas à concentração máxima de 20 mg/L do herbicida, houve surpresa em relação às injúrias esperadas. As plantas 16 e 18 tiveram crescimento de raiz similar às amostras anteriores, suas folhas cresceram e se apresentaram verdes e com boa saúde. Já a planta 17, apesar de também ter tido crescimento de raiz, curiosamente apresentou folhas antigas, secas e sem clorofila, embora tenha sido a amostra com a maior ocorrência de crescimento de folhas novas.

O fato de as plantas apresentarem bom crescimento de raízes e folhas, apesar de estarem em ambiente com Atrazina, pode estar relacionado ao estímulo que o próprio herbicida causa às plantas, fazendo com que elas desenvolvam habilidade de adaptação ao meio estressante. De acordo com Ferreira e Matsubara (1997), as plantas, na presença do herbicida, tornam-se mais tolerantes, fazendo com que tenham menos danos, como um mecanismo de defesa.

Em relação à análise histoquímica, ao analisar os fragmentos de folhas das plantas, observou-se que houve em todas as amostras uma coloração marrom, como visto na Figura 1.

Conforme proposto por Pedroso (2009), foi possível demonstrar graficamente a porcentagem de ocorrência das classes para as diferentes concentrações de Atrazina às quais as amostras foram expostas, como pode ser observado na Figura 2.

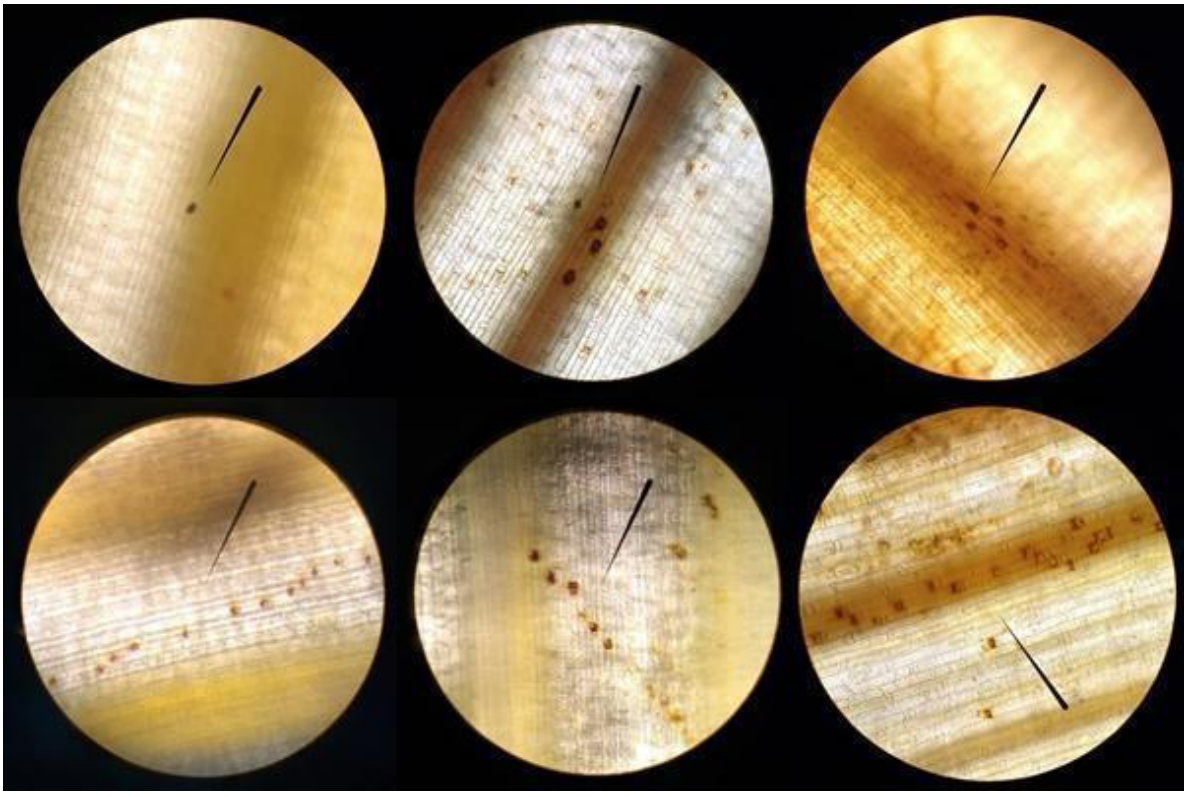

Figura 1 – Amostras 1, 4, 8, 10, 14 e 16 com presença de peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações de Atrazina, sendo 0,0 mg/L; 0,002 mg/L; 0,02 mg/L; 0,2 mg/L; 2,0 mg/L; e 20 mg/L, respectivamente.

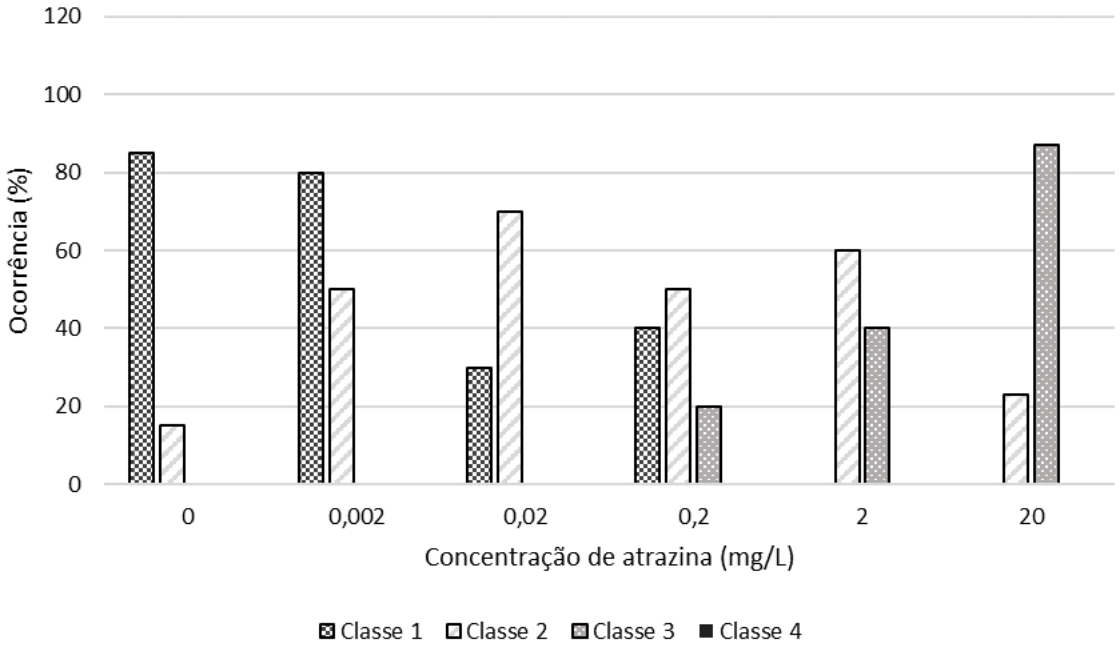

Figura 2 – Ocorrência em porcentagem do acúmulo de peróxido de hidrogênio, em que Classe 1 (1-5 células), Classe 2 (6-10 células), Classe 3 (11- 15 células) e Classe 4 (16-20 células), conforme classificação de Pedroso (2009).

Como pode ser visto (Figura 2), todas as amostras, em suas diferentes concentrações de Atrazina, apresentaram acúmulo de peróxido de hidrogênio em seus tecidos foliares. Além disso, vale ressaltar que o número de células marrons nas amostras diminui conforme a concentração de Atrazina à qual a planta estava exposta fosse menor.

Entretanto, foi possível observar que mesmo na amostra com menor concentração de Atrazina houve a presença de H_2O_2 (peróxido de hidrogênio), fato que pode ser atribuído ao H_2O_2 estar relacionado ao aumento desse componente e de outras espécies reativas de oxigênio (EROs), que ocorre devido ao estresse ambiental ao qual a planta está suscetível. As EROs são resultantes da redução do oxigênio molecular por meio dos elétrons da cadeia respiratória (Apel; Hirt, 2004; Bray; Bailey-Serres; Weretilnyk, 2000), e portanto, em condições de estresse ambiental há um aumento de EROs, ou seja, quanto maior o estresse ambiental, maior a geração de EROs (Foyer; Noctor, 2005; Miller, 1993).

Medeiros (2015), ao estudar o potencial fitorremediador de algumas espécies vegetais, observou resultados similares, uma vez que as espécies *P. vittata* e *B. brizantha* apresentaram acúmulo de H_2O_2 no tratamento controle, e todas as demais amostras foram classificadas como Classe 1 (1-5 células). Por outro lado, o maior acúmulo ocorreu nas plantas expostas ao benzeno em concentração igual a 20 mg L^{-1} por dez dias, abrangendo 27% das amostras de *P. vittata* na classe 3 (11-15 células).

Embora Levine *et al.* (1994) afirmem que o H_2O_2 indique morte celular devido ao fato de se acumular, inicialmente, na parede celular e membrana plasmática, seguido do colapso da célula, alguns autores, como Bowler e Fluhr (2000), defendem que o acúmulo em quantidades controladas de peróxido de hidrogênio pode trazer vantagens às plantas, tornando-as mais tolerantes a estresses ambientais.

Para identificar a morte celular nos tecidos foliares das espécies em estudo, usou-se o corante Azul de Evans, demonstrado na Figura 3.

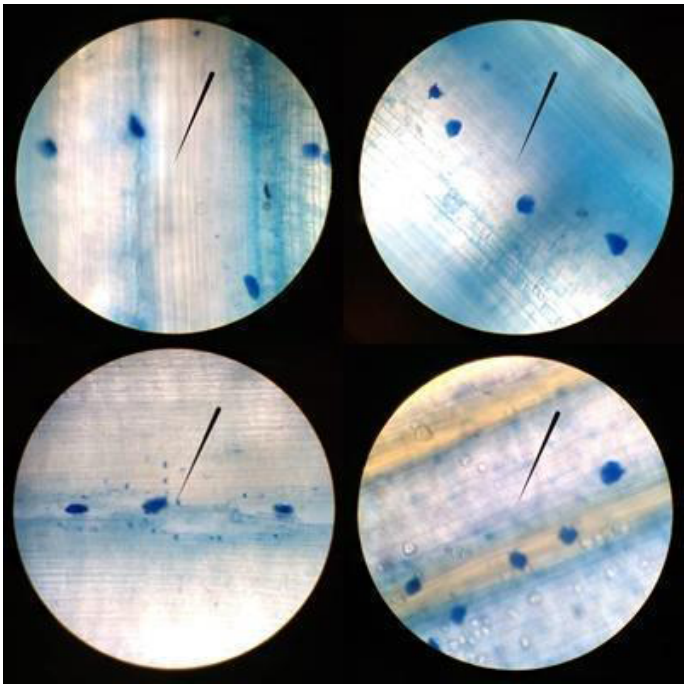

Figura 3 – Amostras 1, 2, 3 e 4 com morte celular em diferentes concentrações de Atrazina.

Como era esperado, a morte celular mais intensa foi identificada no tratamento em que a concentração era maior (20 mg L^{-1}) de Atrazina, conforme pode ser observado na Figura 4.

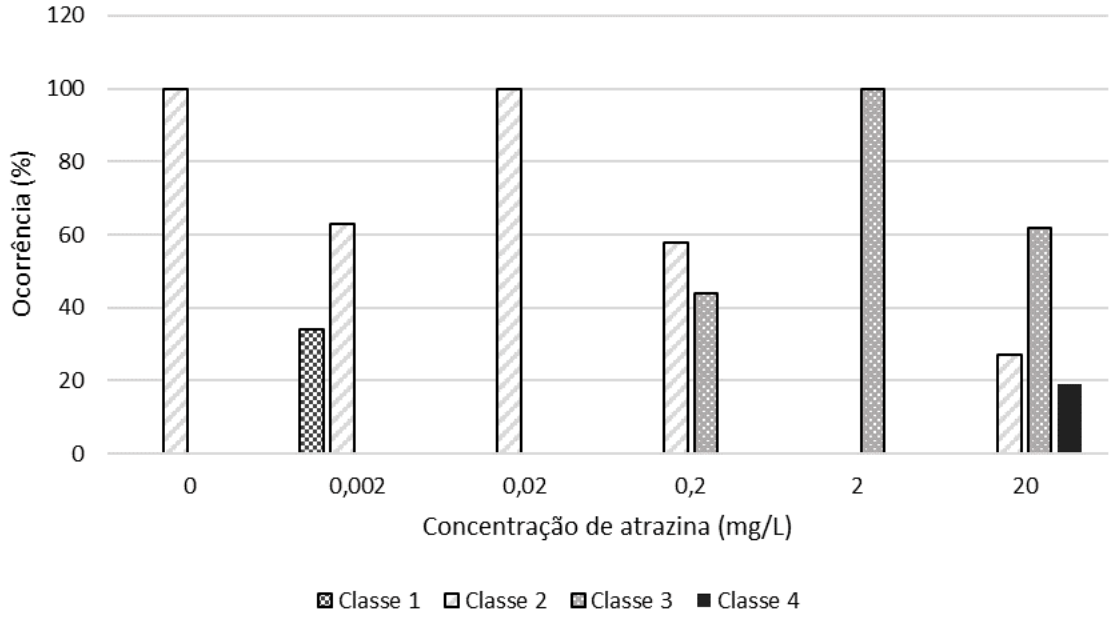

Figura 4 – Porcentagem de morte celular, em que Classe 1 (1-5 células), Classe 2 (6-10 células), Classe 3 (11- 15 células) e Classe 4 (16-20 células), conforme classificação de Pedroso (2009).

Nota-se que a menor concentração de Atrazina resultou em 100% de células consideradas de Classe 1, ou seja, evidenciando que quanto menor a concentração de Atrazina, menos morte celular seria constatada. Esse fato era esperado, uma vez que Medeiros (2015) já havia observado o mesmo padrão, quando três espécies vegetais de seu estudo apresentaram a relação de maior ocorrência de morte celular quanto maior fosse a exposição destas ao benzeno.

Para a análise de biomassa, no início do experimento, as plantas foram retiradas da solução, secas em papel absorvente e pesadas em balança analítica (Marte AD330), obtendo-se a massa fresca. O mesmo procedimento foi repetido ao final do experimento, quando as amostras foram retiradas da solução. Foi possível observar que todas as amostras apresentaram aumento da sua biomassa, o que sugere que, mesmo em exposição ao herbicida, as folhas e raízes se desenvolveram.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar o potencial da espécie *Vetiveria zizanióides* (Capim Vetiver) na fitorremediação para tratamento de águas residuárias, e embora não tenha sido possível determinar essa eficiência real em remover o herbicida, o estudo em si possibilitou avaliar a tolerância da gramínea exposta a diferentes concentrações de Atrazina (0 mg/L; 0,002 mg/L; 0,02 mg/L; 0,2 mg/L; 2,0 mg/L; e 20,0 mg/L), a partir das análises realizadas e fatores como crescimento de folhas e raízes.

A análise para acúmulo de peróxido de hidrogênio possibilitou identificar o aumento da presença desse componente nos indivíduos expostos às maiores concentrações de Atrazina, que, por sua vez, foram os que apresentaram maior EROs por conta desse estresse ao qual foram submetidos. Nesse sentido, o mesmo comportamento foi

encontrado nos resultados da análise de morte celular, uma vez que o número de células mortas foi alto nas amostras expostas a maiores concentrações do herbicida. Entretanto, para poder afirmar que o Capim Vetiver é de fato uma espécie com potencial fitorremediador, é necessário que análises complementares sejam realizadas, aumentando-se, por exemplo, as concentrações de Atrazina e os períodos de exposição da planta ao herbicida. Outro experimento importante, a ser realizado no futuro, seria avaliar a quantidade de Atrazina absorvida pela planta e a dinâmica dessa absorção.

Vale ressaltar que o Capim Vetiver se mostrou bastante resistente desde o início do experimento, demonstrando ser de fácil crescimento e manuseio e indicando ser razoavelmente resistente à Atrazina, sugerindo bons indicativos para aplicações do Capim Vetiver em tratamento de águas residuárias empregando fitorremediação. Assim, propõe-se que mais pesquisas sejam realizadas acerca dessa espécie.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Neves AAC, Cotta CP, Neves UM, Medeiros TAM; **Metodologia:** Neves AAC, Cotta CP, Neves UM, Medeiros TAM; **Investigação:** Neves AAC, Cotta CP, Neves UM, Medeiros TAM; **Redação - Primeira versão:** Neves AAC, Cotta CP, Neves UM, Medeiros TAM; **Redação - Revisão & Edição:** Neves AAC, Cotta CP, Neves UM, Medeiros TAM; **Recursos:** Neves AAC, Cotta CP, Neves UM, Medeiros TAM.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. P. *et al.* An overview of the potential impacts of atrazine in aquatic environments: perspectives for tailored solutions based on nanotechnology. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 700, e134868, 2020. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134868.

ALMEIDA, E. A. P. **Avaliação do potencial da espécie Vetiveria zizanióides na fitorremediação de metais-traço presentes em ambientes aquáticos**. 2011. Tese (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, San Mateo, v. 55, p. 373-399, 2004.

BOWLER, C.; FLUHR, R. The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 5, n. 6, p. 241-246, 2000.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. *In*: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES R. L. (Ed.). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. New York: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1203.

CANUTO, T. G. *et al.* Estimativa do risco potencial de contaminação por pesticidas de águas superficiais e subterrâneas do município de Tianguá-CE, com aplicação do método de GOSS e índice de GUS. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 17., 2010, São Luís. **Anais** [...]. São Luís: ABAS, 2010. p. 1-20.

CARMO, D. A. *et al.* Comportamento ambiental e toxicidade dos herbicidas Atrazina e Simazina. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Brasil, v. 8, n. 1, 2013.

CEREJEIRA, M. J. *et al.* Pesticides in Portuguese surface and ground waters. **Water Research**, Amsterdam, v. 37, n. 5, p. 1055-1063, 2003. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00462-6

DANH, L. T. *et al.* Vetiver Grass, Vetiveria zizanioides: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. **International Journal of Phytoremediation**, Abingdon, v. 11, n. 8, p. 664-691, 2009. https://doi.org/10.1080/15226510902787302

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: Conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 61-68, 1997. https://doi.org/10.1590/S0104-42301997000100014

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox homeostasis and antioxidante signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. **The Plant Cell**, Oxford, v. 17, n. 17, p. 1866-1875, 2005. https://doi.org/10.1105/tpc.105.033589

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: The College of Agriculture University of California, California Agriculture Station, 1938. Disponível em: https://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/downloads/hoagland_arnon.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Produtos agrotóxicos e afins comercializados entre 2000 e 2016 no Brasil**: uma abordagem ambiental. Brasília, DF, 2018.

IRITI, M. *et al.* Benzothiadiazole-induced resistance modulates ozone tolerance. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, DC, v. 51, n. 15, p. 4308-4314, 2003.

LEVINE, A. *et al.* H_2O_2 from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. **Cell Journal**, Amsterdam, v. 79, n. 4,:p. 583-593, 1994. https://doi.org/10.1016/0092-8674(94)90544-4

LOPES, M. A.; CONTINI, E. Agricultura, Sustentabilidade e Tecnologia. **Agroanalysis**, Especial EMBRAPA, São Paulo, 2012.

MEDEIROS, T. A. M. **Efeito fitotóxico e potencial remediador de três espécies vegetais contaminadas com benzeno**. 2015. Tese (Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2015.

MEJÍA, P. V. L. *et al.* Metodologia para seleção de técnica de fitorremediação em áreas contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 31, p. 97-104, 2014.

MENEZES NETO, M. A.; GUERRA, M. P. A new method for determination of the photosynthetic pathway in grasses. **Photosynthesis Research**, Berlim, v. 142, p. 1-6, 2019.

MILLER, G. W. **The effect of fluoride on higher plants: with especial emphasis on early physiological and biochemical disorders**. Fluoride, [S. l.], v. 26, p. 3-22, 1993.

MOREIRA, I. T. A. *et al.* Resultados preliminares no desenvolvimento de cultivares da mamona na fitorremediação de solo contaminado por metais pesados. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2º, Aracaju, 2006. **Anais** [...]. Aracaju: Embrapa Algodão, 2006.

PEDROSO, A. N. V. **Alterações estruturais, ultraestruturais e histoquímicas em folhas de** Nicotiana tabacum **"Bel-W3" (Solanaceae)**. São Paulo: Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, 2009.

RODRIGUES, R. Agro é paz: análises e propostas para o Brasil alimentar o mundo. **Portal de Livros Abertos da USP**, São Paulo, 2023. https://doi.org/10.11606/9786587391458

SINGH, S. *et al.* Toxicity, degradation and analysis of the herbicide atrazine. **Environmental Chemistry Letters**, Berlim, v. 16, p. 211-237, 2018.

TAVERNA, M. E. *et al.* Microparticles based on ionic and organosolv lignins for the controlled release of atrazine. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 359, p. 139-147, 2018. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.010

TRUONG, P.; VAN, T. T.; PINNERS, E. **Vetiver systems application**: a technical reference manual. 2. ed. [*S. l.*]: The Vetiver Network International, 2008.