

EFICÁCIA DA MISTURA DE ALGICIDA COM HERBICIDAS EM MACRÓFITAS E CONTROLE SECUNDÁRIO DE ALGAS

EFFECTIVENESS OF THE MIXTURE OF ALGICIDE WITH HERBICIDES IN MACROPHYTES AND SECONDARY ALGAE CONTROL

Claudinei da Cruz^{a,b*}, Adilson Ferreira Silva^b, Nathalia Garlich^{a,b}, Taise Florêncio^b, Robinson Antonio Pitelli^b

^aLaboratório de Ecotoxicologia e Eficácia dos Agrotóxicos, LEEA, do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, São Paulo, Brasil.

^bNúcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia, NEPEAM, da FCAV/Unesp, São Paulo, Brasil.

*Autor correspondente: claudineicruz@gmail.com

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do artigo:

Recebido: 16 Junho 2019.

Aceito: 13 Março 2020.

Publicado: 20 Março 2020.

Palavras-chave/Keywords:

Plantas aquáticas/ Aquatic plants.

Ambiente aquático/ Aquatic environment.

Controle químico/ Chemical control.

Eficácia/ Efficacy.

Financiamento:

Auxílio Pesquisa, processo 2015/16735

-5 - Fapesp (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo).

Direito Autoral: Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons , que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor e a fonte originais sejam creditados.

Citação deste artigo:

CRUZ, C.; SILVA, A. F.; GARLICH, N.; FLORÊNCIO, T.; PITELLI, R. A. Eficácia da mistura de algicida com herbicidas em macrófitas e controle secundário de algas..

Revista Brasileira de Herbicidas, v. 18, n. 3. 2019.

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram determinar a eficácia de controle dos herbicidas imazamox e saflufenacil, isolados e em mistura com hidróxido de cobre (fonte de íon cobre) no controle da macrófita (*Ceratophyllum demersum*) e determinar a eficácia de controle de alga unicelular (*Ankistrodesmus gracilis*) e filamentosa (*Pitophora kewensis*) das misturas imazamox + 0,1% de cobre e saflufenacil + 0,1% de cobre, em condição de laboratório. Para o controle de *C. demersum*, os experimentos foram instalados com as concentrações de 0,01; 0,1; 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0 mg L⁻¹ imazamox e saflufenacil isolados ou acrescido de 0,1% de fonte cobre. Para os experimentos com alga unicelular (70 mL da água coletada) e alga filamentosa (1,0g) foi utilizado a concentrações 0,01; 0,1; 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0 mg L⁻¹ imazamox e saflufenacil acrescidos de 0,1% de cobre. Após o término do experimento foi determinado à concentração de clorofila *a* e feofitina *a* presentes nas amostras. Com a utilização de imazamox + 0,1% de cobre ocorreu redução de 100% do peso e do comprimento da macrófita a partir de 2,5 mg L⁻¹. Com o saflufenacil + 0,1% de cobre ocorreu 100% de mortalidade das plantas em 1,0 mg L⁻¹. As misturas testadas também foram eficazes na redução da atividade fotossintética de algas unicelulares e filamentosas. A aplicação dos herbicidas imazamox e saflufenacil acrescidos de 0,1% de hidróxido de cobre apresenta sinergismo no controle de macrófitas submersas e pode apresentar efeito secundário algicida.

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the effectiveness of the control of imazamox and saflufenacil herbicides isolated and in combination with copper hydroxide (copper ion source) in the control of macrophytes (*Ceratophyllum demersum*) and to determine the efficacy of control of unicellular (*Ankistrodesmus gracilis*) and filamentous (*Pitophora kewensis*) algae mixtures imazamox + 0.1% copper and saflufenacil + 0.1% copper, in laboratory condition. For the control of *C. demersum*, the experiments were installed with concentrations of 0.01; 0.1; 1.0; 2.5; 5.0; and 10.0 mg L⁻¹ imazamox and saflufenacil isolated or added 0.1% copper source. For experiments with unicellular algae (70 mL of collected water) and filamentous algae (1.0 g) was used at concentrations of 0.01; 0.1; 1.0; 2.5; 5.0; and 10.0 mg L⁻¹ imazamox and saflufenacil plus 0.1% copper. After the end of the experiment the concentration of chlorophyll *a* and pheophytin was determined in the samples. With the use of imazamox + 0.1% copper there was a reduction of 100% of the weight and the length of the macrophyte from 2.5 mg L⁻¹. With saflufenacil + 0.1% copper occurred 100% plant mortality in 1.0 mg L⁻¹. The tested mixtures were also effective in reducing the photosynthetic activity of unicellular and filamentous algae. The application of the imazamox and saflufenacil herbicides added with 0.1% of copper hydroxide shows synergism in the control of submerged macrophytes and may present algicide side effect.

1. Introdução

As macrófitas fornecem habitats, refúgio e reprodução de organismos aquáticos e ajudam na liberação de energia e carbono nas bases alimentares (PIETERSE; MURPHY, 1990). Devido à intensa ação antrópica decorrentes das atividades urbanas, industriais e agrícolas liberam nutrientes na água e contribuem para o crescimento desordenado destas plantas (NEVES; FOLONI; PITELLI, 2002).

O problema das grandes colonizações de macrófitas tem crescido, especialmente em reservatórios de hidrelétricas e em áreas de captação de água (PITELLI et al., 2011), interferido nas atividades de transporte e geração de energia elétrica, pois algumas hidrelétricas e hidrovias têm suas atividades comprometidas pela infestação de macrófitas submersas, flutuantes e emergentes, sendo necessária a intervenção para o manejo e controle destas plantas.

O controle químico de macrófitas é adotado em vários países e no Brasil sua regulamentação de uso ocorreu em 2015 pela Resolução nº 467, de 16 de Julho de 2015, que dispõe sobre critérios para a autorização de uso de produtos ou de agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para o controle de organismos ou contaminantes em corpos hídricos superficiais e dá outras providências (CONAMA, 2015).

Estudos sobre a eficácia de controle de macrófitas submersas foram realizados com o diquat em *Hydrilla verticillata*, *Egeria densa* e *E. najas* (HENARES et al., 2011); com diquat, hidróxido de cobre, oxicloreto de cobre e suas associações (diquat + 0,1% de oxicloreto de cobre e diquat + 0,1% de hidróxido de cobre) para o controle de *Ceratophyllum demersum* (GARLICH et al., 2016); diquat isolado e em mistura com hidróxido e oxicloreto para o controle de *Hydrilla verticillata* e da alga *Ankistrodesmus gracilis* (MALASPINA et al., 2017); e com endothall para controle de *Vallisneria australis*, *Potamogeton sulcatus*, *Elodea canadensis*, *Sagittaria platyphylla* e *Myriophyllum papillosum*) (CLEMENTS et al., 2018), dentre outros.

Um dos possíveis problemas após o controle de intensas infestações de macrófitas é a liberação de nutrientes inorgânicos como nitrogênio e fósforo no ambiente aquático, favorecendo o processo de eutrofização (GRUBER; GALLOWAY, 2008), o que pode contribuir para a reprodução e proliferação de algas (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004; MALASPINA et al., 2017). Com o aumento de algas ocorre a diminuição do oxigênio dissolvido na água o que pode acarretar a mortalidade de peixes, liberação de toxinas secretadas por algumas espécies de cianobactérias.

Alguns herbicidas podem apresentar efeito secundário de controle para algas, porém ainda não se tem uma base experimental que demonstre esta hipótese. Para Peterson et al. (1997) os herbicidas hexazinona e diquat causaram redução de 50% (concentração efetiva – EC50) do

crescimento de algas unicelulares e de cianobactérias em concentrações que variaram entre 0,01 e 0,05 mg L⁻¹. Para Geoffroy et al. (2002) os herbicidas diuron e oxyfluorfen causaram 100% de redução do crescimento da alga *Scenedesmus obliquus* entre 25,0 e 30,0 µg L⁻¹ e para Sáenz et al., (1997) o paraquat causou inibição do crescimento de *Scenedesmus acutus*, *Selenastrum capricornutum*, *Chlorella vulgaris* entre 0,05 e 1,6 mg L⁻¹.

Assim, um herbicida em mistura com uma fonte de cobre pode ser uma alternativa para o controle de algas nos ambientes aquáticos. Para Xia e Tian (2009) o cobre pode ser eficiente no controle de algas, pois imibe a divisão celular e a fotossíntese como demonstrado para *Chlorella pyrenoidosa*; para *Chlorella* sp., *Chlorella pyrenoidosa* e *Scenedesmus obliquus* (MA; LIANG, 2001); para a *Pseudokirchneriella subcapitata* (SCHAMPHELAERE et al., 2005) e o sulfato de cobre para a cianobactéria *Microcystis aeruginosa* (BISHOP; WILLIS; RICHARDSON, 2019).

Atualmente, há vários questionamentos sobre a utilização de herbicidas no ambiente aquático, especialmente sobre a eficácia de controle, segurança ambiental e os possíveis efeitos da degradação e decomposição das macrófitas após a sua morte. Dentre os principais problemas destaca-se que os nutrientes e a matéria orgânica gerada pela decomposição destas plantas podem aumentar a demanda biológica de oxigênio dos sistemas aquáticos e acelerar os processos de liberação de nutrientes e facilitar a ocorrência de proliferação de algas. O emprego da tecnologia de aplicação de herbicida em mistura com algicida pode facilitar o controle de macrófitas e algas, dificultando a utilização dos nutrientes gerados pela decomposição e, assim minimizar os impactos ambientais do controle. Assim, este trabalho foi desenvolvido com os objetivos de determinar a eficácia de controle dos herbicidas imazamox e saflufenacil, isolados e em mistura com hidróxido de cobre (0,1% acrescido na formulação), no controle da macrófita (*Ceratophyllum demersum*) e determinar a eficácia de controle de algas unicelulares e filamentosas, em condição de laboratório.

2. Material e Métodos

Os herbicidas testados foram o imazamox (700,0 g kg⁻¹) na formulação Sweeper® e o saflufenacil (700,0 g kg⁻¹) (Heat®) e como fonte de cobre, o Tutor® na formulação composta por 69,0% de hidróxido de cobre.

Ensaio de eficácia para controle de *C. demersum*

Para determinação da eficácia do imazamox e saflufenacil, isolados e em mistura com hidróxido de cobre (0,1% acrescido na calda de aplicação), para controle *C. demersum* foram conduzidos experimentos delineamento inteiramente casualizado (DIC) em sala climatizada mantida

na temperatura de $25,0 \pm 2,0$ °C, 1000 lux de iluminação e fotoperíodo de 12 horas. Em frascos plásticos transparentes com capacidade para 1,3 L de água, foram transplantados de três fragmentos apicais, com 13 cm de comprimento.

Os fragmentos apicais foram coletados em plantas com adequado estado sanitário e nutricional e tiveram sua biomassa fresca (g) obtidos em balança de precisão (Marte® modelo AS2000C). Para a remoção do excesso de água, antes da determinação da biomassa fresca, os fragmentos apicais foram pressionados levemente contra papel-filtro. Os experimentos foram instalados com as concentrações de 0,01; 0,1; 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0 mg L⁻¹ imazamox e saflufenacil isolados e acrescido de 0,1% de hidróxido de cobre, e um controle, com cinco repetições e três fragmentos apicais por repetição, por um período de experimental de 30 dias.

Após 30 dias, os fragmentos apicais foram removidos das parcelas experimentais e procedeu-se a mensuração do comprimento final (cm) e biomassa fresca (g). O efeito de controle dos herbicidas foi determinado pela equação proposta por Henderson e Tilton (1967). Os resultados obtidos de redução de comprimento dos fragmentos apicais e de biomassa foram submetidos a análise de regressão linear para obtenção da relação concentração testada e efeito de controle da macróbia submersa *C. demersum* (BARBOSA; MALDONADO JR, 2014).

Ensaio de eficácia para controle de algas unicelulares e filamentosas

A alga unicelular *Ankistrodesmus gracilis* foi obtida do laboratório de produção de plâncton. A alga filamentosa *Pithophora kewensis* foi coletada com auxílio de um coletor de plâncton em tanques de produção de macrófitas. As amostras de algas unicelulares (70 mL da água coletada) foram transferidas para tubos de ensaios com capacidade para 100 mL e permaneceram por 24 horas. Para a alga filamentosa, 1,0 g foi pesado em balança de precisão e também permaneceu por 24 h em sala climatizada nas mesmas condições.

Após este período foi realizada a aplicação de 30 mL de meio de cultivo Hogland contendo as concentrações 0,01; 0,1; 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0 mg L⁻¹ imazamox e saflufenacil isolados e acrescidos de 0,1% de hidróxido de cobre e um controle, com cinco repetições, por um período de experimental de 15 dias.

Após este período, três parcelas experimentais de cada concentração foram coletadas e procedeu-se a filtragem do volume total da parcela em bomba á vácuo em sistema kitassato com membrana HA em ester de celulose 0,45 µm

de poro 47 mm de diâmetro. Após filtragem, o conteúdo e a membrana foram armazenados em tubos de ensaios em freezer a -4,0°C até o momento da leitura da clorofila e feofitina *a* conforme recomendação da Cetesb (1990).

A seguir, a membrana foi transferida para tudo falcon com capacidade para 15 mL e foram adicionados 10 mL de acetona 90%. Os tubos foram transferidos para o freezer a -4 °C por 24 horas para ocorrer o processo de extração, que consiste na remoção dos pigmentos de clorofila pela acetona. A seguir, os tubos falcon foram retirados de freezer e submetidos a centrifugação a 2800 rpm por 20 minutos em centrífuga Centribio 80-2B.

Após a centrifugação, o sobrenadante foi transferido para cubetas espectrofotométrica de 1,0 cm de caminho ótico. A leitura foi realizada em espectrofotômetro Odyssey Hach Company DR/ 2500 spectrophotometer illuminator module. Como padrão do caminho ótico foi utilizado um branco de acetona 90%. Os comprimentos de onda mensurados para a clorofila *a* foram 750 e 664 nm. Após a realização desta leitura foi adicionado à amostra presente na cubeta 0,1 mL de ácido clorídrico 0,1N. Após este procedimento, foi novamente realizada a mensuração em 750 e 665 nm para a correção de feofiltina *a* presente na amostra.

Os resultados obtidos antes e após a acidificação foram corrigidos pela equação de turbidez e foram submetidos à equação geral de clorofila *a* feofiltina *a* conforme norma da Cetesb (1990). Os resultados das análises de clorofila *a* e feofitina *a* foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e suas médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% (BARBOSA; MALDONADO JR, 2014).

3. Resultados e Discussão

Em condição de laboratório, a utilização de imazamox até 10,0 mg L⁻¹ causou redução da biomassa ($y = -7,1306x + 97,158$), com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,73$ e do comprimento ($y = -7,1556x + 93,929$, $R^2 = 0,80$) dos fragmentos apicais de *C. demersum* em aproximadamente 50% após exposição de 30 dias (Figura 1). Com a utilização de imazamox + 0,1% de hidróxido de cobre ocorreu redução de 100% da biomassa ($y = -17,679 + 111,61$, com $R^2 = 0,87$) e do comprimento ($y = -18,699 + 116,37$, com $R^2 = 0,92$) da macrófita a partir de 2,5 mg L⁻¹ (Figura 1), similar a utilização de 0,1 a 1,8 mg L⁻¹ de diquat isolado e em mistura com 1,0% de hidróxido e oxicloreto de cobre que controlou 100% de *H. verticillata* (MALASPINA et al., 2017), assim, o emprego da mistura foi mais eficaz no controle de *C. demersum*.

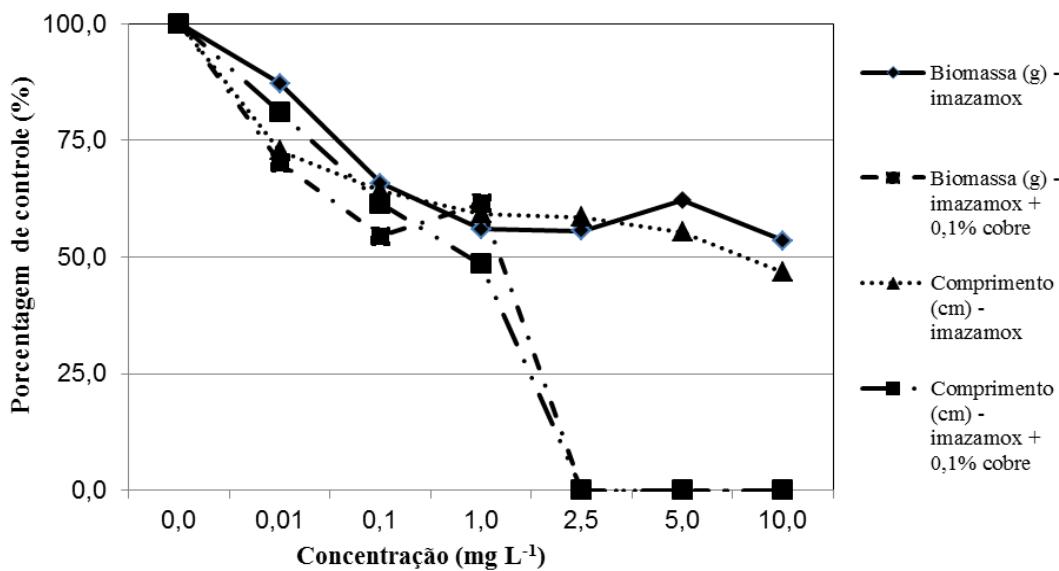


Figura 1. Redução da biomassa (g) e do comprimento (cm) do *C. demersum* exposto a imazamox e a mistura imazamox + 0,1% de cobre.

O imazamox (a partir de 2,5 mg L⁻¹) na presença de 0,1% de hidróxido de cobre promoveu melhor no controle do *C. demersum*. A utilização de várias técnicas de manejo é fundamental para o sucesso da utilização do controle químico devido à complexidade dos ambientes aquáticos. O diquat na dose 0,1; 0,2 e 0,5 mg L⁻¹ foi efetivo no controle da macrofita submersa *Potamogeton pectinatus* após a realização de poda ou com a utilização de sombreamento (FILIZADEH; MURPHY, 2002). A utilização do herbicida endothal nas concentrações de 0,25; 0,75 e 1,25 mg L⁻¹ acrescidos de 0,5 e 1,0 mg L⁻¹ de cobre ethylenediamine também causaram redução significativa da biomassa de *P. crispus*) (TURNAGE; MADSEN, 2017).

Com a utilização de saflufenacil, a maior redução de biomassa e comprimento de *C. demersum* ($y = -7,326x + 96,564$, com $R^2 = 0,69$ e $y = -10,54x + 114,72$, com $R^2 = 0,80$, respectivamente) ocorreu em 5,0 mg L⁻¹ com porcentagem superior a 50% (Figura 2). Com a adição de 0,1% de hidróxido de cobre ocorreu 100% de mortalidade

das plantas em 1,0 mg L⁻¹ (Figura 2). O efeito da presença da fonte de cobre foi mais efetivo com este herbicida do que com o imazamox (Figura 2). O flumioxazin acrescido de cobre (200,0 µg L⁻¹ + 1,0 µg L⁻¹ e 400,0 µg L⁻¹ + 1,0 µg L⁻¹) causou redução de 10 a 42% na atividade da clorofila em *Lemna minor*, durante 48h (FRANKART et al., 2002). Para esta planta, 40 µg L⁻¹ de cobre foi suficiente para induzir diminuição na capacidade fotossintética que indica que, embora o cobre seja um micronutriente essencial para a vida da planta, ele pode se tornar um potente inibidor da fotossíntese quando em excesso, com alvos de ação os cloroplastos. O processo fotossintético é sensível ao íon cobre, que é conhecido por diminuir a taxa de transferência de elétrons, causando interrupção da fase fotoquímica (POGSON et al., 1998) ou induz a formação de radicais livres que causam danos oxidativos (NAVARI-IZZO et al., 1998). O aumento da injúria causada pelo cobre fica caracterizado pela morte das plantas nas concentrações intermediárias dos herbicidas testados (Figura 1 e 2).

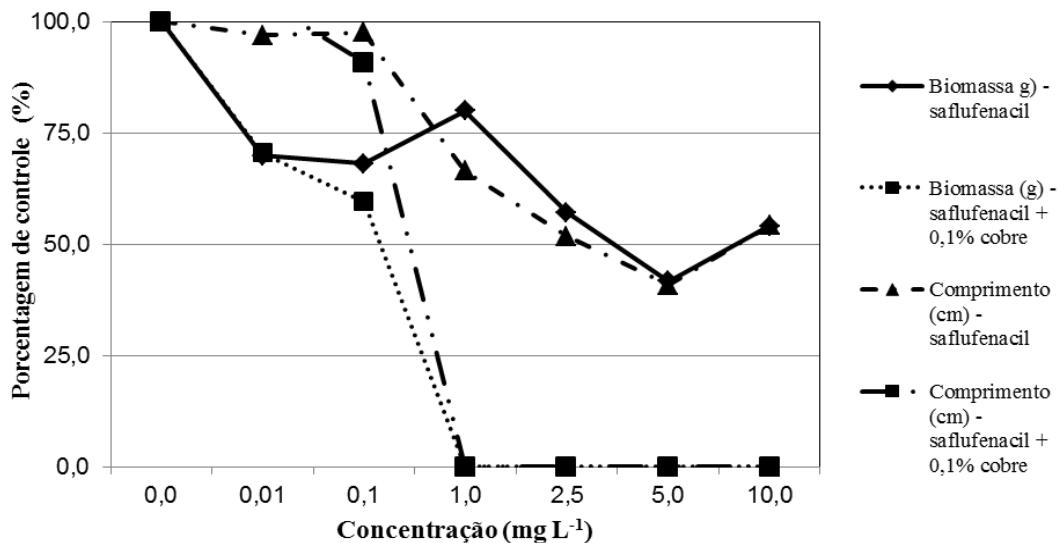


Figura 2. Redução da biomassa (g) e do comprimento (cm) do *C. demersum* exposto a saflufenacil e a mistura + 0,1% de cobre.

No experimento com imazamox + 0,1% de cobre para alga filamentosa *P. kewensis* no tratamento controle a concentração de clorofila *a* foi de 54,16 µg L⁻¹ e a de feofiltina de 76,41 µg L⁻¹. Nas concentrações de 0,01; 0,1; e 1,0 mg L⁻¹ os pigmentos de clorofila *a* variaram de 45,0 µg L⁻¹ e feofitina entre 50,0 e 60,0 µg L⁻¹, sem ocorrer diferença significativa entre os tratamentos (Figura 3). Em 2,5 e 5,0

mg L⁻¹ ocorreram diminuições significativas ($p < 0,05$) nas concentrações dos pigmentos. Em 10,0 mg L⁻¹ ocorreu a menor concentração de clorofila *a* (21,4 µg L⁻¹) e de feofitina de 27,89 µg L⁻¹ (Figura 3). Assim, em relação ao controle ocorreu redução de 3 vezes a concentração da atividade da clorofila *a* caracterizando a inibição da atividade fotossintética.

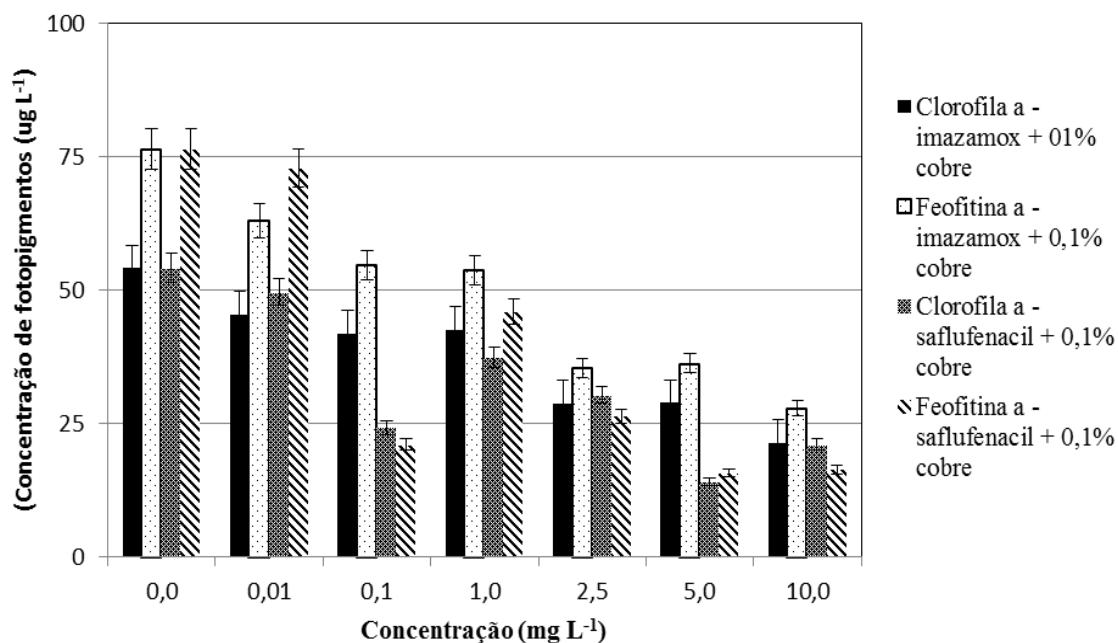


Figura 3. Concentração de pigmento de clorofila *a* e feofitina *a* de alga *P. kewensis* exposta ao imazamox + 0,1% de hidróxido de cobre e saflufenacil + 0,1% de hidróxido de cobre.

No experimento com saflufenacil + 0,1% de cobre a concentração de clorofila e feofitina do controle foi similar ao descrito para o imazamox (Figura 3). As concentrações intermediárias e em 10,0 mg L⁻¹ também manifestaram comportamento de resposta similar e significativas ao imazamox (Figura 3). O controle e as concentrações de 0,01; 1,0; e 2,5; mg L⁻¹ ($p > 0,05$) não apresentaram diferenças significativas entre si para os dois pigmentos fotossintéticos analisados. Apenas em 5,0 e 10,0 mg L⁻¹ ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) da concentração de clorofila *a* e feofitina *a* (Figura 3).

No experimento para alga unicelular *A. gracilis* com imazamox + 0,1% de cobre ocorreu 3,48 µg L⁻¹ de clorofila *a* e 4,8 µg L⁻¹ de feofitina *a* no controle. Os valores de clorofila *a* diminuíram significativamente ($p > 0,05$) em

relação ao controle em 0,01 e 0,1 mg L⁻¹, enquanto que a feofitina *a* presente nas amostras foi similar ao controle com variação entre 4,72 a 4,05 µg L⁻¹ (Figura 4). Em 1,0; 2,5; 5,0; e 10,0 mg L⁻¹ a clorofila não foi detectada ou esteve em concentrações próxima de 0,25 µg L⁻¹ (Figura 4).

Para o saflufenacil + 0,1% de cobre, a clorofila não foi detectada a partir de 0,01 mg L⁻¹ ou manteve-se também em 0,25 µg L⁻¹ nas concentrações de 1,0 e 2,5 mg L⁻¹. Para os feopigmentos ocorreu redução em relação ao controle em todas as concentrações avaliadas, exceto em 0,01 mg L⁻¹ (Figura 4).

Esta dinâmica indica que herbicidas testados acrescidos de 0,1% de hidróxido de cobre aturam na inibição da fotossíntese das algas unicelulares de acordo com Pogson et al. (1998).

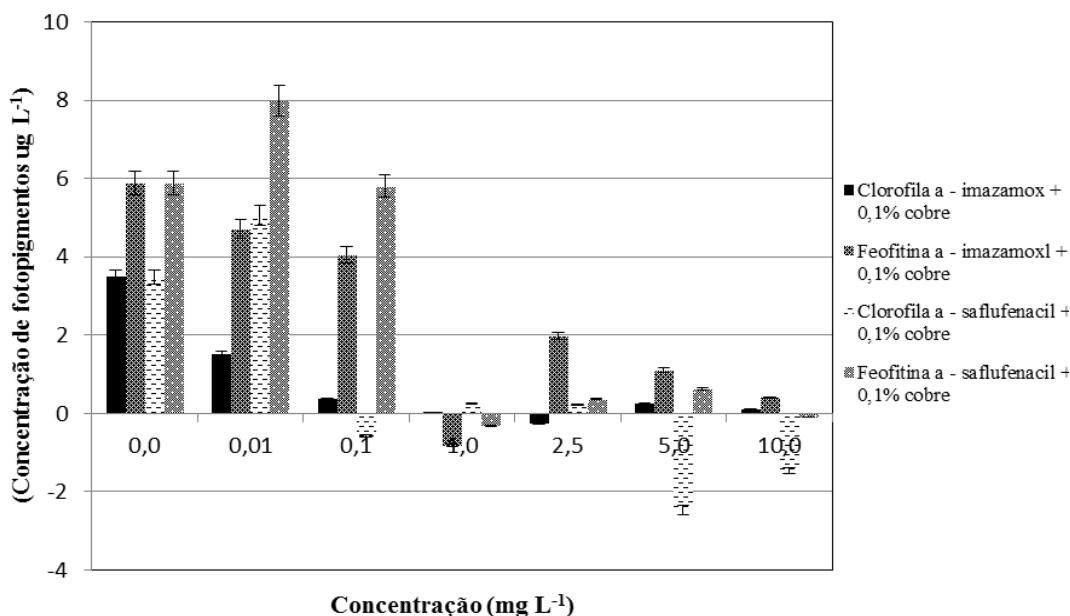


Figura 4. Concentração de pigmento de clorofila *a* e feofitina *a* de algas unicelulares expostas ao imazamox + 0,1% de hidróxido de cobre e saflufenacil + 0,1% de hidróxido de cobre.

4. Conclusão

Com base nos resultados obtidos conclui-se que, a aplicação dos herbicidas saflufenacil e imazamox acrescidos de hidróxido de cobre apresenta melhor controle de macrófitas submersas e pode ocorrer efeito secundário algicida com atuação sobre algas filamentosas e unicelulares. Portanto, o emprego desta mistura no controle de macrófitas submersa, como o *C. demersum*, pode ser importante na tomada de decisão de manejo.

Referências

- Barbosa, J. C.; Maldonado JR, W. AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos. Versão 1.1.0.712. 2014.
- Bishop, W. M.; Willis, B. E.; Richardson, R. J. Sensitivity of *Microcystis aeruginosa* strains to copper and influence of phosphorus. **J. Aquat. Plant Manage.**, v. 57. p. 79-89, 2019.
- Cetesb, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Determinação de pigmentos fotossintetizantes- clorofila-A, B e C e feofitina-A: método de ensaio. Norma técnica CETESB L 5.306. 1990, 22 p.
- Clements, D.; Butler, K. L.; Hunt, T. D.; Liu, Z.; Dugdale, T. M. Efficacy of endothall dimethylalkylamine salt applied to static irrigation channels during winter to control aquatic weeds in temperate Australia. **J. Aquat. Plant Manage.**, v. 56. p. 84-92, 2018.
- Conama, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 467, de 16 de Julho de 2015. Publicada no DOU nº 135, de 17 de julho de 2015, seção 1, p.70-71, 2015.
- Filizadeh, Y.; Murphy, K. J. Response of sago pondweed to combinations of low doses of diquat, cutting, and shade. **J. Aquat. Plant Manage.**, v. 40, p. 72-76, 2002.
- Frankart, C.; Eullaffroy, P.; Vernet, G. Photosynthetic responses of *Lemna minor* exposed to xenobiotics, copper, and their combinations. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 53, n. 3, p. 439-445, 2002.
- Garlich, N.; Cruz, C.; Silva, A. F.; Malaspina, I. C.; Ferreira, R. G.; Tedesque, M .G.; Pitelli, R. A.; Bianco, S. Effectiveness of diquat, copper hydroxide, copper oxychloride and their association in control of submerged macrophytes. **Planta Daninha**, v. 34, n. 1, p. 117-123, 2016.
- Geoffroy, L.; Teisseire, H.; Couderchet, M.; Vernet, G. Effect of oxyfluorfen and diuron alone and in mixture on antioxidative enzymes of *Scenedesmus obliquus*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 72, p. 178-185, 2002.
- Gruber, N.; Galloway, J. N. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle. **Nature**, v. 451, p. 293-296, 2008.
- Henderson, C. F.; Tilton, E. W. Tests with acaricides against the brown wheat mite. **J. Econ. Entomol.**, v. 48, n. 2, p. 157-161, 1967.
- Henares, M. N. P.; Rezende, F. R. L.; Gomes, G. R. Cruz, C. Pitelli, R. A. Eficácia do diquat no controle de *Hydrilla verticillata*, *Egeria densa* e *Egeria najas* e toxicidade aguda para o guaru (*Phalocerus caudimaculatus*), em condições de laboratório. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 279-285, 2011.

- Ma, J.; Liang, W. Acute toxicity of 12 herbicides to the green algae *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus obliquus*. **Bulletin Environmental Contamination Toxicology**, v. 67, p. 347–351, 2001.
- Xia J.; Tian, Q. Early stage toxicity of excess copper to photosystem II of *Chlorella pyrenoidosa*–OJIP chlorophyll a fluorescence analysis. **J. Environmental Sciences**, v. 21, p. 1569-1574, 2009.
- Malaspina, I. C.; Cruz, C.; Garlich, N.; Bianco, S.; Pitelli, R. A. Effectiveness of diquat, both isolated and associated with copper sources in controlling the *Hydrilla verticillata* submerged macrophytes and *Ankistrodesmus Gracilis* microphyte. **Planta Daninha**, v. 35:e017160653, 2017.
- Navari-Izzo, F.; Quarticci, M. F.; Pinzino, C.; Dalla Vecchia, F.; Sgherri, C.L.M. Thylakoid-bound and stromal antioxidative enzymes in wheat treated with excess copper. **Physiol. Plant**, v. 104, p. 630-638, 1998.
- Neves, T.; Foloni, L.L.; Pitelli, R. A. Controle químico do aguapé (*Eichhornia crassipes*). **Planta Daninha**, v. 20, p. 89-97, 2002.
- Peterson, H. G.; Boutin, C.; Freemark, K. E.; Martin. P. A. Toxicity of hexazinone and diquat to green algae, diatoms, cyanobacteria and duckweed. **Aquatic Toxicology**, v. 39, n. 2, p. 111-134, 1997.
- Pieterse, A. H.; Murphy, K. **Aquatics weeds and management of nuisance aquatic vegetation**. New York: Oxford University Press, 1990, 593 p.
- Pitelli, R. A.; Bisigatto, A. T.; Kawaguchi, I.; Pitelli, R. L. C. M. Doses e horário de aplicação do diquat no controle de *Eichhornia crassipes*. **Planta Daninha**, v. 29, n. 2, p. 269-277, 2011.
- Pogson, B. J.; Niyogi, K. K.; Bjorkman, O.; Dellapenna, D. Altered xanthophyll composition adversely affect chlorophyll accumulation and non-photochemical quenching in *Arabidopsis* mutant. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, v. 95, p. 13324-13329, 1998.
- Sáenz, M. E.; Alberdi, L.; Di Marzio, W. D.; Accorinti, J.; Tortorelli, M. C. Paraquat toxicity to different green algae. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 58, n. 6, p. 922-928, 1997.
- Schamphelaere, K. C.; Stauber, J. L.; Wilde, K. L.; Scott. J. M.; Brown, P.; Franklin, N.; Creighton, N.M.; Janssen, C. Toward a Biotic Ligand Model for Freshwater Green Algae: Surface-bound and internal copper are better predictors of toxicity than free Cu²⁺-ion activity when pH is varied. **Environ. Sci. Technol.**, v. 39, p. 2067-2072, 2005.
- Turnage, G.; Madsen, J. D. Curlyleaf pondweed (*Potamogeton crispus*) control using copper-ethylenediamine alone and in combination with endothall. **J. Aquat. Plant Manage**, v. 55. p. 116-119, 2017.
- Vidotti, E. C.; Rollemburg, M. C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremedicação e à química analítica. **Química Nova**, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2004.