

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CONTROLE QUÍMICO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS E
INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM
CONDIÇÕES DE VÁRZEA**

Wilson Roberto Cerveira Junior

Engenheiro Agrônomo

2021

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CONTROLE QUÍMICO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS E
INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM
CONDIÇÕES DE VÁRZEA**

Wilson Roberto Cerveira Junior

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Claudinei da Cruz

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (produção vegetal).**

C419c	Cerveira Junior, Wilson Roberto Controle químico de macrófitas aquáticas e indicadores de qualidade ambiental em condições de várzea / Wilson Roberto Cerveira Junior. -- Jaboticabal, 2021 108 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Leonardo Bianco de Carvalho Coorientador: Claudinei da Cruz 1. Herbicidas. 2. Macrófitas aquáticas. 3. Monitoramento ambiental. 4. Várzeas. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CONTROLE QUÍMICO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS E INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM CONDIÇÕES DE VÁRZEA

AUTOR: WILSON ROBERTO CERVEIRA JÚNIOR

ORIENTADOR: LEONARDO BIANCO DE CARVALHO

COORDENADOR: CLAUDINEI DA CRUZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEONARDO BIANCO DE CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. Aposentado ROBINSON ANTONIO PITELLI (Participação Virtual)
Biologia Aplicada à Agropecuária / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - UNESP

Prof. Dr. IGOR CRUZ MALASPINA (Participação Virtual)
UNIFEB / Barretos/SP

Profa. Dra. SILVIA PATRÍCIA CARRASCHI DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Uniará / Araraquara, SP

Profa. Dra. JULIANA HELOISA PINÊ AMÉRICO PINHEIRO (Participação Virtual)
FEIS-UNESP / Ilha Solteira/SP

Jaboticabal, 12 de novembro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

WILSON ROBERTO CERVEIRA JUNIOR – Engenheiro Agrônomo, filho de Wilson Roberto Cerveira e Rosemeire Gomes Cerveira, nasceu em Barretos, interior do Estado de São Paulo, no dia 25 de junho de 1988. Coursou o ensino fundamental e médio na cidade natal. Em 2008, iniciou o curso de Agronomia no Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB), na qual concluiu em 2013, com bolsa do projeto de iniciação científica (PIBIC) durante um ano e bolsa do programa CIEE durante dois anos, cumprido suas horas de estágio na secretaria de agricultura e meio ambiente de Barretos. Desenvolveu o TCC em parceria com a empresa Monsanto SA, com o tema, Resposta de cultivares de milho transgênicos e convencional a densidades populacionais, sob orientação do Prof. Dr. Rogério Farinelli. Durante os anos de 2014 a 2016 integrou a equipe responsável pelo desenvolvimento de um RET / BASF, coordenado pelo Prof. Dr. Robinson Antônio Pitelli e Prof. Dr. Claudinei da Cruz. Em 2015, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia na área de Produção Vegetal com ênfase em matologia junto a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Campus de Jaboticabal. Atuou, no grupo de pesquisas do Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia (NEPEAM) pertencente ao Departamento de Fitossanidade da FCAV no NEPEAM – núcleo de pesquisa e estudos ambientais em matologia foi Bolsista do P&D monitoramento de macrófita aquática, coordenado pelo Prof. Dr. Robinson Antônio Pitelli, na empresa Light Energia no estado do Rio de Janeiro. Em maio de 2017, foi submetido à banca examinadora para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. Em 2018 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia na área de Produção Vegetal com ênfase em matologia junto a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Campus de Jaboticabal. integrou o grupo de pesquisa do LabMATO – Laboratório de Matologia pertencente ao Departamento de Ciências da Produção Agrícola da FCAV.

“A persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz”

BILL GATES

Aos meus pais Wilson Roberto Cerveira e Rosemeire Gomes Cerveira pelo amor incondicional, incentivo e sabedoria;

Eles quem me ensinaram que trabalho, respeito, honestidade e dedicação são as melhores escolhas.

DEDICO

Ao Leea – Laboratório de ecotoxicologia e eficácia de agrotóxicos

OFEREÇO

Ao LabMATO – Laboratório de Matologia da Unesp/Fcav

AGRADEÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho, pela orientação, pelos momentos de aprendizagem, paciência e pela oportunidade em deixar fazer parte do LabMATO;

Ao meu coorientador e amigo Prof. Dr. Claudinei da Cruz, pela orientação, paciência, companheirismo, dedicação, oportunidade, ensinamentos, confiança em meu trabalho, estrutura concedida para a realização dos ensaios e pela oportunidade em deixar fazer parte da equipe do LEEA;

Ao Laboratório de Matologia – LabMATO junto a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), Câmpus de Jaboticabal, Departamento de Ciências da Produção Agrícola;

À toda equipe do LabMATO – Nagilla Moraes Silveira, Yanna Karoline Santos da Costa, Vitor Simionato Bidóia e estagiários

Ao Laboratório de Ecotoxicologia e Eficácia dos Agrotóxicos - LEEA e ao Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos - UNIFEB pela estrutura concedida para a realização dos experimentos;

À toda equipe do LEEA – Gabriel Pekin, Luiz Henrique Peres, João Pedro Nesso, Henrique Casagrande, Edivan Mendes Diamantino, Willians Luiz Bueno de Souza, Nathalia Garlich, Ana Carolina de Oliveira, Karina Petri, Vittor Salles, Guilherme Leonardi, Tales Ribeiro, Mayele Diogo Luperino, Isadora Beatriz Modenezi, Cássia Gracioli Pereira, Cecília Alves de Pádua, Marcella Gonçalves Cardoso, Giovanni Tobias Santos, Felype Rocha de Araújo, Larissa Rodrigues Pereira, Pamela Castro Pereira, Wislainy Rabelo Cassiano Moura e Ana Júlia pela ajuda nos experimentos;

A Isabella Alves Brunetti pela amizade, apoio e ajuda sempre que necessário;

À equipe NEPEAM – Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais em Matologia: Adilson Ferreira da Silva, João Henrique Corte Cervoni, Silvia Patrícia Carraschi, Ronaldo Ferreira, Jaqueline Della Vechia, Igor Malaspina, Cynthia Ikefuti, e Alfredo Yamauchi, Juliana Américo, Robinson Pitelli pela amizade e companheirismo que fizeram parte do início da minha formação;

A toda equipe da APG – Associação de pôs graduando da UNESP/FCAV que pude ter a oportunidade de fazer parte desta equipe;

Aos membros da banca examinadora, pelas relevantes considerações ao meu trabalho;

A toda minha família: Wilson Roberto Cerveira e Rosemeire Gomes Cerveira, meus pais que sempre pelos ensinamentos, Danielle Gomes Cerveira, minha irmã que sempre apoiou e pelo amor e carinho; minha avó Ivone Martins, aos meus tios Sergio Gomes e Solange Gomes, primos, pois a família é à base de tudo;

A todos que contribuíram para esta conquista.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1 Estrutura da Tese	1
1.2 Introdução e Justificativa	1
1.3 Revisão de Literatura	2
1.3.1 Controle químico de Plantas aquáticas.....	2
1.3.2 Monitoramento Ambiental	5
1.3.3 Plantas aquáticas.....	6
1.4 Referências	9
CAPÍTULO 2 – MANEJO QUÍMICO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS COM GLYPHOSATE E SAFLUFENACIL EM CONDIÇÃO SIMULADA DE VÁRZEA ALAGADA	15
Resumo	15
2.1 Introdução	16
2.2 Objetivos	18
2.3 Material e Métodos	18
2.3.1 Material vegetal e condição experimental	18
2.3.2 Desenho experimental.....	19
2.3.3 Avaliações	20
2.3.4 Análises estatísticas	21
2.4 Resultados e Discussões.....	21
2.4.1 Primeira aplicacao de herbicidas	21
2.4.2 Aplicação complementar com glyphosate	26
2.4 Conclusões	32
2.5 Referências	32
CAPÍTULO 3 – INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA APÓS APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE E SAFLUFENACIL PARA CONTROLE DE MACRÓFITAS EM MESOCOSMOS.....	37
Resumo	37
3.1 Introdução	38
3.2 Objetivos	39
3.3 Material e Métodos	40
3.4 Resultados e Discussão	43

3.4.1 Indicadores de qualidade de água	43
3.4.2 Clorofila <i>a</i> nas plantas, fosforo total (PT) e nitrogênio total (NT) em <i>E. crassipes</i>	51
3.5 Conclusões.....	54
3.5 Referências.....	55
CAPÍTULO 4 – MANEJO QUÍMICO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS COM GLYPHOSATE E IMAZAMOX EM CONDIÇÃO DE MESOCOSMO	59
Resumo	59
4.1 Introdução	60
4.2 Objetivos	61
4.3 Material e Métodos	61
4.3.1 Material vegetal e condição experimental	61
4.3.2 Avaliações	63
4.4 Resultados e Discussão	63
4.5 Conclusões.....	71
4.6 Referências.....	72
CAPÍTULO 5 – INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA APÓS APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE E IMAZAMOX PARA CONTROLE DE MACRÓFITAS EM MESOCOSMOS.....	76
Resumo	76
5.1 Introdução	77
5.2 Objetivos	78
5.3 Material e Métodos	78
5.4 Resultados e Discussão	80
5.4.1 Indicadores de qualidade de água	80
5.4.2 Clorofila <i>a</i> nas plantas	88
5.5 Conclusões.....	90
5.6 Referências.....	90

CONTROLE QUÍMICO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS E INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL EM CONDIÇÕES DE VÁRZEA

RESUMO – As atividades antropogênicas causam crescimento excessivo das macrófitas aquáticas, que por sua vez, acarretam impactos ecológicos, econômicos e a saúde pública. O controle químico com herbicida é uma forma de manejo destas plantas. Contudo, para aplicação de produtos químicos no ambiente aquático é necessário fazer uma avaliação do impacto desta utilização e o potencial risco ambiental. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia dos herbicidas glyphosate, saflufenacil e imazamox isolados e em misturas, com uma posterior aplicação sequencial de glyphosate e imazamox no controle de macrófitas aquáticas e os efeitos sobre indicadores ambientais de qualidade de água em condição de mesocosmos. Para tanto, foram utilizados mesocosmos, com adição de solo e esterco orgânico em metade da superfície do fundo simulando uma área de várzea alagada. Foram realizados dois experimentos, sendo testado no primeiro as doses de 120,0 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil, glyphosate + saflufenacil (1440,0 g i.a. ha⁻¹ + 42,0 g i.a. ha⁻¹; 1440,0 g i.a. ha⁻¹ + 84,0 g i.a. ha⁻¹; 1440,0 g i.a. ha⁻¹ + 168,0 g i.a. ha⁻¹) e 1440,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate, com uma aplicação sequencial em 75 após a primeira aplicação de 1680,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate. No segundo foi testado as doses de 800 g i.a. ha⁻¹ de imazamox, glyphosate + imazamox (1440 + 200 g i.a. ha⁻¹; 1440 + 400 g i.a. ha⁻¹; 1440 + 600 g i.a. ha⁻¹) e aplicação sequencial de 800 g i.a. ha⁻¹ de imazamox realizada 75 dias após a primeira aplicação. O glyphosate isolado apresentou melhor controle das macrófitas aquáticas em relação as misturas. O glyphosate + saflufenacil foi mais eficaz no controle de *Hedychium coronarium* e *Pistia stratiotes* e o glyphosate + imazamox foi mais eficaz para *Urochloa arrecta* e *Eirchhornia crassipes*. A aplicação sequencial de glyphosate obteve um melhor controle da ressurgência e de plantas que não apresentam eficácia ao invés do uso de imazamox, e não ocorreram alterações significativas nos parâmetros químicos, físicos e biológicos de qualidade de água. Conclui-se que a aplicação de herbicidas (isolados ou em misturas) e uma pulverização complementar pode ser utilizada como estratégia de manejo de controle de macrófitas aquáticas, sem causar alterações nos indicadores de qualidade ambiental.

Palavras-chave: Herbicidas; qualidade de água; monitoramento ambiental; plantas aquáticas.

CHEMICAL CONTROL OF AQUATIC MACROPHYTES AND ENVIRONMENTAL QUALITY INDICATORS IN CONDITIONS VARZEA

ABSTRACT – Anthropogenic activities cause excessive growth of aquatic macrophytes, which in turn lead to ecological, economic and public health impacts. Chemical control with herbicide is a way of managing these plants. However, for the application of chemical products in the aquatic environment it is necessary to carry out an assessment of the impact of this use and the potential environmental risk. Thus, the aim of this study was to evaluate the efficacy of glyphosate, saflufenacil and imazamox herbicides, isolated and in mixtures, with a subsequent sequential application of glyphosate and imazamox in the control of aquatic macrophytes and the effects on environmental indicators of water quality in mesocosm conditions. For this purpose, mesocosms were used, with the addition of soil and organic manure on half of the bottom surface, simulating a flooded floodplain area. Two experiments were carried out, the first being tested at doses of 120.0 g ai ha⁻¹ of saflufenacil, glyphosate + saflufenacil (1440.0 g ai ha⁻¹ + 42.0 g ai ha⁻¹; 1440.0 g ai ha⁻¹ + 84.0 g ai ha⁻¹; 1440.0 g ai ha⁻¹ + 168.0 g ai ha⁻¹) and 1440.0 g ai ha⁻¹ of glyphosate, with a sequential application in 75 after the first application of 1680.0 g ai ha⁻¹ of glyphosate. In the second, doses of 800 g ai ha⁻¹ of imazamox, glyphosate + imazamox (1440 + 200 g ai ha⁻¹; 1440 + 400 g ai ha⁻¹; 1440 + 600 g ai ha⁻¹) were tested and sequential application of 800 g ai ha⁻¹ of imazamox performed 75 days after the first application. The isolated glyphosate showed better control of aquatic macrophytes in relation to the mixtures. Glyphosate + saflufenacil was more effective in controlling *Hedychium coronarium* and *Pistia stratiotes* and glyphosate + imazamox was more effective in *Urochloa arrecta* and *Eicchornia crassipes*. The sequential application of glyphosate obtained a better control of upwelling and of plants that do not show efficacy, instead of the use of imazamox, and there were no significant changes in the chemical, physical and biological parameters of water quality. It is concluded that the application of herbicides (alone or in mixtures) and a complementary spraying can be used as a management strategy to control aquatic macrophytes, without altering the environmental quality indicators.

Keywords: Herbicides; water quality; environmental monitoring; aquatic plants.

CAPÍTULO 1– Considerações gerais

1.1 Estrutura da Tese

Esta tese está estruturada com um breve referencial bibliográfico sobre o controle químico de plantas aquáticas, monitoramento ambiental e plantas aquáticas (Capítulo 1). Esta primeira parte direciona a leitura ao Capítulo 2, que apresenta um artigo científico sobre Manejo químico de macrófitas aquáticas com glyphosate e saflufenacil em condição simulada de várzea alagada. O Capítulo 3 compreende um artigo científico sobre Indicadores de qualidade de água após aplicação de glyphosate e saflufenacil para controle de macrófitas em mesocosmos. O Capítulo 4 compreende um artigo científico sobre Manejo químico de macrófitas aquáticas com glyphosate e imazamox em condição de mesocosmo. O Capítulo 5 compreende um artigo científico Indicadores de qualidade de água após aplicação de glyphosate e imazamox para controle de macrófitas em mesocosmos.

1.2 Introdução e justificativa

As atividades de origem antropogênica causam crescimento excessivo das macrófitas aquáticas, que por sua vez, acarretam impactos ecológicos, econômicos e sanitários, tais como navegação, irrigação, canais de drenagem, esporte e geração de energia. Para evitar esses problemas é necessário a implantação de métodos de controle e entre eles o controle químico.

O controle químico de plantas aquáticas, com aplicações complementares de herbicidas tem sido uma alternativa muito utilizada em diversos países, deve levar em consideração as características ambientais e a possibilidade de ocorrência de plantas secundárias, plantas exóticas invasoras e de rebrotas no processo de colonização e sucessão após o controle inicial.

Os principais entraves sobre a utilização de herbicidas em ambientes aquáticos são os efeitos da decomposição da matéria vegetal morta no interior do corpo hídrico, o que pode interferir na qualidade de água, e o desafio de controle das macrófitas aquáticas. Dentre as ferramentas para avaliações dos possíveis efeitos ambientais da

aplicação de herbicida, está a utilização de mesocosmos que são empregados para avaliações de eficácia e dos possíveis efeitos dos herbicidas no meio ambiente. A simulação ambiental em unidades de ensaio controlado demonstra que os resultados obtidos em ecossistemas experimentais ao ar livre e simula condições próximas do real, que pode dar embasamento a tomada de decisão sobre o modelo de manejo de um conjunto de plantas aquáticas.

Para a implementação de um plano de manejo com herbicidas nos ambientes aquáticos são necessários estudos de simulação ambiental com monitoramento de indicadores ambientais para avaliar o impacto da utilização e o potencial risco ambiental ocorrido durante e após o processo de intervenção química.

1.3 Revisão de Literatura

1.3.1 Controle químico de macrófitas aquáticas

Para redução dos prejuízos causados pelas invasões das macrófitas em ambientes aquáticos, áreas úmidas, várzeas ou em áreas alagadas é necessário o uso de medidas de controle. Para tanto, é levado em consideração o melhor procedimento a ser empregado e a importância do conhecimento do ecossistema aquático e seus usos múltiplos (Gibbons et al., 1994). Além disso, deve-se considerar o tipo ecológico e a biologia da planta aquática, o que facilita na tomada de decisão para o manejo (Nichols, 1991).

O controle mecânico é o mais utilizado no Brasil (Pitelli et al., 2008) e consiste em máquinas para a remoção das plantas. O controle biológico utiliza organismo vivos para controlar a espécie alvo, tais como fungos (Barreto et al., 2000), insetos (Harley; Forno 1990) e peixes, como exemplo a carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) (Silva et al., 2014), porém é um processo que demora para se obter resultado (Tessmann, 2011).

O controle químico de plantas aquáticas tem sido estudado devido à eficácia e a ótima relação custo/benefício (Gettys et al., 2014). No Brasil, o controle químico em área ambiental teve sua regulamentação pela Resolução nº 467, que foi publicada no diário oficial da união nº 135 de 17 de julho de 2015, seção 1, pág. 70 a 71, e que

dispõe sobre critérios para 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 das outras providências (CONAMA, 2015).

Os herbicidas fornecem um conjunto de opções de controle e podem ser aplicados para diminuição no tempo de reinfestação ou erradicação de uma espécie alvo ou grupo de plantas alvo em corpos hídricos incluindo canais de irrigação, rios e lagoas em aplicações parciais ou totais (Getsinger et al., 2014; Netherland, 2014).

Os herbicidas atuam na redução da biomassa das plantas nos ecossistemas aquáticos e quando utilizados de acordo com as especificações técnicas do produto podem ser mais eficientes, eficazes e mais econômicos do que o controle mecânico (Netherland, 2014). Os herbicidas que apresentam registros para plantas aquáticas em alguns países, com excessão do Brasil, são o 2,4-D (Sal dimetilamina), carfentrazone-ethyl, diclobenil, diquat, endothall, flumioxazin, fluridone, glyphosate haloxyfop-metil, imazapyr, imazamox, metsulfuron-methyl, penoxsulam, terbutrina, triclopyr e produtos a base de cobre que auxiliam no controle de algas (Hussner et al., 2017).

O glyphosate [N-(fosfonometil) glicina] é não-seletivo, sistêmico, pós-emergente (Amarante Jr. et al., 2002) e atua na inibição da enzima EPSPS (5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase) que catalisa as reações de síntese de aminoácidos aromáticos (Sandrini et al., 2013). Descrito como eficaz para *Myriophyllum aquaticum* (Negrisoli et al., 2003; Hofstra et al., 2006); *U. arrecta* e *Brachiaria mutica* (Carbonari et al., 2003); *Alternanthera philoxeroides*, *M. aquaticum*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia molesta* e *Ludwigia grandiflora* (Emerine et al., 2010); *U. arrecta*, *Hedychium coronarium*, e *Myriophyllum aquaticum* (Cerveira JR. et al., 2019); com e sem adição de adjuvantes para *Myriophyllum aquaticum* (Cerveira JR. et al., 2020) e *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *S. molesta*, *Salvinia herzogii* e *U. arrecta* (Cruz et al., 2015a).

O saflufenacil é inibidor da protoporfirinogênio IX oxidase (PPO) que pertence à família dos pirimidinedione (Agostineto et al., 2016), é um herbicida de uma nova geração aprovado para uso no tratamento de ervas daninhas de folha larga em espécies de cultivo como milho, soja e trigo (Grossmann et al., 2010). Os Herbicidas

inibidores de PPO de nova geração, estão aumentando a demanda para uso com espécies que se tornaram resistentes a outros herbicidas de amplo espectro como o glifosato, embora o saflufenacil seja frequentemente aplicado junto com o glifosato para maximizar a potência e eficácia (Christiansen et al., 2010; Grossmann et al., 2011; Hao et al., 2011; Salas et al., 2016).

Quando aplicado via foliar, o saflufenacil exibe atividade herbicida por meio da necrose do tecido vegetal (Grossmann et al., 2011). Após a exposição à luz solar, observa-se que a necrose do tecido vegetal ocorre rapidamente nas espécies-alvo (Christiansen et al., 2010). O principal modo de ação é como fotossensibilizador, que estimula a formação de oxigênio singleto em estado de excitação. Essas espécies reativas de oxigênio, então, oxidam ácidos graxos insaturados nas membranas celulares, resultando em perda de integridade estrutural, vazamento de água, formação de etileno e, finalmente, necrose do tecido e eventual morte da espécie-alvo (Wakabayashi e Böger 1999; Matsumoto 2002). Seu modo de ação secundário, inibe a produção de clorofila, privando a espécie-alvo de energia e resultando na morte da planta mais lenta, porém eficaz (Grossmann et al., 2011).

O imazamox pertencente ao grupo químico das imidazolinonas portanto inibidores de ALS e contém um grupo funcional metoximetil no anel piridina (Tan et al., 2005). É absorvido pela folha e translocado para o xilema e floema causando injúrias e a morte do meristema apical das plantas (Senseman, 2007), é eficaz para monocotiledôneas e eudicotiledôneas (Nelson e Renner, 1998; Tan et al., 2005). No ambiente não é tóxico para invertebrados, abelhas, peixes, aves, mamíferos e pouco tóxico para as algas, não bioacumula, sua meia vida é de 5 a 15 dias dependendo da luminosidade e profundidade do corpo hídrico e a sua dissipação ocorre por diluição e fotólise (Sera, 2010).

Alguns estudos evidenciam a eficácia de imazamox para *E. crassipes* e *Salvinia minima* (Mudge, 2013); para *S. molesta* (Emerine et al., 2010; Campos et al., 2012; Mudge e Netherland, 2014), para *E. crassipes* empregando tecnologia de aplicação como volumes de calda (Garlich et al., 2019) e *S. molesta* (Garlich et al., 2020).

A utilização de misturas de herbicidas tem como o objetivo aumentar o espectro de controle das plantas, além dessa vantagem, o seu uso permite reduzir as doses implicando assim um menor impacto ambiental e diminuir os custos de controle, com

as misturas, um herbicida pode melhorar a ação do outro, ou seja, pode ocorrer efeito sinérgico, resultando em maior eficiência de controle (Ronchi, 2002). O efeito sinérgico é quando o efeito combinado de dois herbicidas é maior que o esperado pela soma dos efeitos destes aplicados isoladamente (Jordan; Warren, 1995). O uso de misturas com diferentes mecanismos de ação minimiza o risco de surgimento de plantas daninhas tolerantes e/ ou resistentes (Vargas et al., 1999; Kruse et al., 2000).

1.3.2 Monitoramento Ambiental

Uma forma de avaliar a eficácia e os possíveis efeitos dos herbicidas é a simulação ambiental com unidades de ensaio controlado, constituído por mesocosmos, definido como ecossistemas experimentais ao ar livre (Odum, 1985). Obtém condições próximas do real, pois os resultados obtidos podem trazer informações valiosas no processo de decisão quanto ao uso de produtos químicos em ambientes aquáticos (Martins et al., 2005; Guimarães et al., 2003; Rosa et al., 2009).

Herbicidas aplicados nos corpos hídricos podem sofrer fotodegradação, degradação microbiana, adsorção por matéria orgânica particulada ou argilas em suspensão, diluição e meia-vida de algumas horas e/ou dias (Souza et al., 2017). O estudo de simulação de efeitos ambientais em condição de mesocosmos é importante para avaliar as características físico-químicas da água durante o processo de controle (OCDE, 2004). Desta forma, o monitoramento ambiental serve para avaliar esses efeitos de aplicação e o comportamento dos herbicidas, com a importância do levantamento de informações sobre as ações direta e indireta na qualidade da água.

Essas avaliações podem exibir resultados satisfatórios em condições mais próximas do real que podem auxiliar na tomada de decisão do momento de utilização de herbicidas no ambiente aquático. Alguns estudos utilizando mesocosmos para determinar os efeitos em indicadores ambientais de qualidade de água tais como: estudo com método de fluxo contínuo de água simulando situação próxima do real para demonstrar os possíveis riscos do uso de substâncias químicas no controle de plantas aquáticas (Guimarães et al., 2003), avaliação da eficácia do herbicida diquat no controle da *E. crassipes* e os possíveis efeitos sobre as características da qualidade de água (Martins e Pitelli, 2005), eficácia do herbicida fluridone para controle de plantas aquáticas submersas *Egeria najas* e *E. densa* em condição de

microcosmo e represa de pequeno porte sem fluxo de água e os efeitos nas características da qualidade de água (Tanaka et al., 2002), aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condições de mesocosmo (Cruz et al., 2017) e pulverização eletrostática de imazamox para controle da planta aquática flutuante *S. molesta* e seus efeitos na qualidade da água (Garlich et al., 2020).

Uma vez utilizado produto químico na água, alterações na sua qualidade podem ocorrer. As alterações na qualidade da água estão diretamente relacionadas com as alterações que ocorrem nos corpos hídricos (Tucci, 2004). O diquat ($1,8 \text{ mg L}^{-1}$) + 1,0% de hidróxido de cobre na avaliação de 15 DAA obteve concentração de clorofila a em torno de $0,15 \mu\text{g L}^{-1}$ para a microalga *Ankistrodesmus gracilis*, e para a dose de $1,8 \text{ mg L}^{-1}$ sem a associação de hidróxido de cobre obteve $0,15 \mu\text{g L}^{-1}$ (Malaspina et al., 2017). Em estudo com *Pithophora kewesis* e o herbicida diquat com associações a oxicloreto de cobre e hidróxido de cobre obteve resultados significativos, para o herbicida imazamox empregada com aplicação centrifuga, obteve queda na concentração de clorofila a em relação as doses testadas (Garlich et al., 2020).

Outra variável passível de alteração é a matéria orgânica, uma vez que as plantas irão entrar em decomposição. Essa análise é determinada pela quantificação da $\text{DBO}_{5;20^\circ\text{C}}$ e DQO na água, que vão estimar qual a extensão da oxidação química e biológica no ambiente aquático (Li et al., 2018).

As análises de nutrientes como fósforo e nitrogênio total são realizadas em estudos com macrófitas aquáticas para avaliação da dinâmica ambiental destes nutrientes (Henry-Silva et al., 2008; Henares et al., 2014), estas análises são fundamentais para a tomada de decisão sobre o plano de manejo a ser implementado na utilização do controle químico e aplicações complementares sob as macrófitas aquáticas.

1.3.3 Plantas aquáticas

No Brasil, estima-se que cerca de 6% do território nacional seja coberto por áreas alagáveis, o que, somado às características favoráveis das regiões tropicais,

indica o aparecimento de várias espécies de macrófitas tanto em ambientes aquáticos naturais como artificiais, sendo mais preocupante as macrófitas com maior grau de crescimento como as espécies *E. crassipes*, *Egeria* spp., *Eleocharis* sp., *Ludwigia* spp., *Oxycaryum cubense*, *P. stratiotes*, *Salvinia* spp. e *Typha dominguensis* (Bianchini Jr. et al., 2010), além de espécies exóticas invasoras como a braquiária d'água (*Urochloa arrecta*) e o lírio do brejo (*H. coronarium*).

As atividades antropogênicas contribuem para o aumento e colonizações de macrófitas, devido à liberação de nutrientes nos corpos hídricos (Pompêo et al., 2008) por meio de resíduos industriais e domésticos (Maximiano et al., 2005), fertilizantes (Von Sperling, 2001), processos erosivos e transporte de material particulado proveniente da agricultura (Yadav et al., 2015). Estas plantas prejudicam os múltiplos usos da água e podem promover prejuízos na navegação, alteração nos padrões de qualidade da água, na captação de água para abastecimento público, na geração de energia elétrica, além de hospedarem organismos vetores de doenças (Pompêo, 2008; Gettys et al., 2014).

Outro problema decorre das maiores perdas de água em áreas colonizadas por macrófitas quando comparadas com a superfície de água livre, devido a evapotranspiração (Otis, 1914). Em estudo realizado por Rosa et al., (2009), a colonização de macrófitas aquáticas (*M. aquaticum*, *B. subquadripara*, *Echinochloa polystachya*, *Typha latifolia* e *Pontederia lanceolata*) aumentou as perdas d'água em mesocosmos em relação ao ambiente sem macrófita; sendo a evapotranspiração um componente do ciclo hidrológico que representa a maior perda de água (Dolan et al., 1984; Koerselman; Beltman, 1988; Campbell; Williamson, 1997).

Para reduzir os prejuízos causados pelas invasões das macrófitas em ambientes aquáticos, áreas úmidas e várzeas é necessário seu controle. Para tanto, é levado em consideração o melhor procedimento a ser empregado, a importância do conhecimento do ecossistema aquático e seus usos múltiplos (Gibbons et al., 1994); considerar o tipo ecológico e a biologia da planta aquática, para assim facilitar a tomada de decisão para o manejo (Nichols, 1991).

A Poaceae *Urochloa arrecta*, monocotiledônea é uma planta perene e estolonífera que se reproduz por meio vegetativo e apresenta baixa produção de sementes, sendo originária da África (Kissmann, 2000). Esta planta foi introduzida no

Brasil como forrageira, no entanto acabou tornando-se uma invasora em ambientes aquáticos muito agressiva causando redução na biodiversidade (Chiarotti et al., 2018).

O lírio do brejo (*H. coronarium*) é uma monocotiledônea da família Zingiberaceae, rizomatosa de hábito herbáceo perene, com reprodução tanto sexuada por sementes quanto assexuada por rizomas (Stone et al., 1992). A alface d'água (*P. stratiotes*) é pertencente à família Araceae, uma espécie flutuante com alta capacidade de multiplicação vegetativa e habilidade para regenerar-se a partir de pequenas porções da planta (Brundu et al., 2012). O aguapé (*E. crassipes*) pertencente à família Pontederiaceae, é uma planta nativa tropical da América que foi introduzida como planta ornamental (Holm et al., 1977).

As plantas aquáticas interagem e disputam pelas condições mais favoráveis do ambiente. Assim durante o processo de controle dessas plantas há uma possibilidade de ocorrência de plantas consideradas secundárias e de rebrotas no processo de colonização e sucessão de plantas após o controle inicial. Isso é devido à alteração no padrão de ocupação da área e ao aumento do espaço disponível para crescimento desta nova colonização, que pode trazer uma nova organização no sistema aquático, como construção de novas áreas de refúgio, reprodução de espécies aquáticas e uma heterogeneidade espacial das macrófitas. Contudo, estas plantas podem trazer um novo padrão de ocupação de bordadura além de facilitar a ocorrência de plantas exóticas invasoras. Para isso um manejo químico fazendo aplicações sequenciais e com rotação de modo de ação se faz necessário e importante.

O uso de herbicidas para o controle de plantas aquáticas e algas é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo, uma vez que, afetam diretamente os ambientes aquáticos (Cruz et al., 2015b; Garlich et al., 2016). Algumas destas plantas flutuantes, como a *E. crassipes* e a *P. stratiotes* se tornaram problemáticas para diversos usos múltiplos da água, especialmente em casos de captação de água, navegação e geração de energia elétrica. Além disso, outras invasoras exóticas como, a *U. arrecta* e o *H. coronarium* e causam danos em ambientes de áreas úmidas, em unidades de conservação, em ambientes naturais, represas de captação de água, dentre outros, além de contribuir para a diminuição das espécies nativas e aumento da evapotranspiração de água, contribuindo para diminuição da disponibilidade de água superficial.

A avaliação da eficácia de controle de macrófitas aquáticas, análises dos parâmetros de qualidade de água e determinação de nutrientes (fósforo e nitrogênio) da água servirá de embasamento para a tomada de decisão de utilização de herbicidas em programas de manejo de plantas aquáticas. Além disso, são subsidiados os procedimentos de aplicação e monitoramento dos possíveis efeitos ambientais da aplicação, sendo de fundamental importância para entender a dinâmica ambiental dessas moléculas nos diversos compartimentos ambientais aquáticos.

1.4 Referências

Agostineto MC, de Carvalho LB, Ansolin HH, de Andrade TCGR, Schmit R (2016) Sinergismo de misturas de glyphosate e herbicidas inibidores da PROTOX no controle de corda-de-viola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 15(1):8-15.

Amarante Junior OP, Dos Santos TCR, Brito NM, Ribeiro ML, (2002) Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Quim. Nova** 25:589-593.

Barreto R, Charudattan R, Pomella A, Hanada R (2000) Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. **Crop Protec** 19:697-703.

Bianchini Jr I, Almeida AA, Fushita AT, Cunha Santino MB, Maia AT (2010) Monitoramento das Macrófitas Aquáticas do Reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Estado de Tocantins, Brasil). **Augmdomus**, 2.

Brundu G, Stinca A, Angius L, Bonanomi G, Celesti-Grappo L, D'auria G, Spigno P (2012) *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy). **EPPO Bulletin** 42(3):568-579.

Campbell DI, Williamson JL (1997) Evaporation from a raised peat bog. **Journal of Hydrology** 193:142-160.

Cerveira JR WR, Silva AF, Cruz C, Pitelli RA, Martins D (2019) Herbicides for rooted aquatic macrophytes. **Planta Daninha** 37:e019175938.

Cerveira JR WR, Silva AF, Cervoni JHC, Cruz C, Pitelli RA (2020) Effect of adding adjuvants on the effectiveness of glyphosate to control the aquatic plant *Myriophyllum aquaticum* (Vell.). **Planta Daninha** 38:e020217137.

Chiarotti LF, Pereira PC, Scannavino RHCP, Castro KS, Cerveira JR WR, Cruz C (2018) Eficácia de herbicidas isolados ou em mistura no controle da planta exótica invasora *Urochloa subquadrifida*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 17(2):e596.

Christiansen N, Looser R, Ehrhardt T, Grossmann K, Niggeweg R (2010) The herbicide saflufenacil (KixorTM) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Sci** 58:1–9.

CONAMA (2015) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 465. **Dispõe sobre critérios para 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 da outras providências**, 5p, 2015. Publicado no DOU no135, seção 1, p. 70-71.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli RA (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108b.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47a.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Dolan TJ, Hermann AJ, Bayley SE, Zoltek Jr. J (1984) Evapotranspiration of a Flórida, U.S.A., freshwater wetland. **Journal of Hydrology** 74:355-371.

Emerine SE, Richardson RJ, True SL, West AM, Roten RL (2010) Greenhouse Response of Six Aquatic Invasive Weeds to Imazamox. **J. Aquat. Plant Manage.** 48:105-111.

Garlich N, Cruz C, Da Silva AF, Carraschi SP, Malaspina IC, Pitelli RA, Bianco S (2016) Diquat associated with copper sources for algae control: Efficacy and ecotoxicology. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 51:215-221.

Garlich N, Guarnieri CCO, Freitas RLG, Cervoni JHC, Cruz C, Ferreira MC (2019) Efficacy of Imazamox with Centrifugal Energy Spray Nozzle on *Eichhornia crassipes* and Economic Analysis of Control Viability. **Planta Daninha**, 37:e019194898.

Garlich N, Garcia GL, de Oliveira AC, Dos Santos KP, Pitelli RA, Ferreira MDC, da Cruz C (2021) Electrostatic spraying of imazamox to control the floating aquatic plant *Salvinia molesta* and its effects on environmental indicators of water quality. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, 56(3):251-258.

Getsinger KD, Dibble E, Rodgers JH, Spencer D (2014) Benefits of Controlling Nuisance Aquatic Plants and Algae in the United States. **CAST Commentary**, QTA2014-1, 12 pp.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

Gibbons MV, Gibbons HL, Sytsma MD (1994) **A citizens manual for developing integrated aquatic vegetation management plans**, Washington Department of Ecology, Water Quality Financial Assistance Program.

Guimarães GL, Foloni LL, Piteli R, Martins AT (2003) Metodologia para avaliação de impacto ambiental de macrófitas em mesocosmos. **Planta Daninha** 21:37-42.

Grossmann K, Niggeweg R, Christiansen N, Looser R, Ehrhardt T (2010) The herbicide saflufenacil (KixorTM) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**, 58(1):1-9.

Harley KLS, Forno IW (1990) Biological control of aquatic weeds by means of arthropods. In: Peterse, AH, Murphy, KJ, (Eds.) Aquatic weeds. The ecology and management of nuisance aquatic vegetation. **New York: Oxford Science Publications**, p. 177-185.

Haller, W (2014) Aquatic herbicide application methods. In: Gettys, L., Haller, W., Petty, D. (Eds.), Biological Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook. third ed. **Aquatic Ecosystem Restoration Foundation**, USA, pp. 193–198.

Hao GF, Zuo Y, Yang SG, Yang GF (2011) Protoporphyrinogen oxidase inhibitor: An ideal target for herbicide discovery. **Chim Int J Chem** 65:961–969.

Henares MNP, Camargo AFM (2014) Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for Eichhornia crassipes (Mart.) Solms and Salvinia molesta Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. **Acta Limnologica Brasiliensia** 26(4):420-428.

Henry-Silva GG, Camargo AFM (2008) Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p.181-188.

Hofstra DE, Champion PD, Dugdale TM (2006) Herbicide trials for the control of parrotsfeather. **J. Aquati. Plant Management**. 44:13-18.

Holm LG, Plucknett DL, Pancho JV, Herberger JP (1997) The World's Worst Weed, distribution and biology. Honolulu: The **Univ. Press of Hawaii**. p. 609.

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, Hofstra D (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. **Aquatic Botany** 136:112-137.

Jordan TN, Warren GF (1995) Herbicide combinations and interactions. In: herbicide action course. Indiana: **Purdue University**, p. 238-254.

Kissmann KG (2000) **Uso de herbicidas no contexto do Mercosul**. In: congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas. Foz do Iguaçu: SBCPD, p. 92-116.

Koerselman W, Beltman B (1988) Evapotranspiration from fens in relation to Penman's potential free water evaporation (E₀) and pan evaporation. **Aquatic Botany** 31:307-320.

Kruse ND, Trezzi MM, Vidal RA (2000) Herbicidas inibidores do EPSPS: revisão de literatura. **Rev. Bras. Herb** 2(1):139-146.

Li J, Luo G, He L, Xu J, Lyu J (2018) Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. **Critical reviews in analytical chemistry** 48(1)47-65.

Malaspina IC, Cruz C, Garlich N, Bianco S, Pitelli RA (2017) Effectiveness of diquat, both isolated and associated with copper sources in controlling the *Hydrilla verticillata* submerged macrophytes and *ankistrodesmus Gracilis* microphyte. **Planta Daninha** 35.

Martins AT, Pitelli RA (2005) Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta daninha**, p. 233-242.

Matsumoto H (2002) **Inhibitors of protoporphyrinogen oxidase: A brief update**. In P Böger, K Wakabayashi, eds, *Herbicide Classes in Development*. Springer, Berlin, Germany, p 151–161.

Maximiano AA, Fernandes RO, Nunes FP, Assis MP, Matos RV, Barbosa CGS, Oliveira-Filho EC (2005) Utilização de drogas veterinárias, agrotóxicos e afins em ambientes hídricos: demandas, regulamentação e considerações sobre riscos à saúde humana e ambiental. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro 10:483-491.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of giant bulrush, water hyacinth, and water lettuce to foliar herbicide applications. **Journal of Aquatic Plant Management**, 52:75-80.

Mudge CR (2013) Impact of aquatic herbicide combinations on nontarget submersed plants. **Journal of Aquatic Plant Management**, 51(1):39-44.

Nelson KA, Renner KA (1998) Weed control in wide- and narrow-row soybean (*Glycine max*) with imazamox, imazethapyr, and CGA-277476 plus quizalofop. **Weed Technol.** 12:137-144.

Netherland MD (2014) Chemical control of aquatic weeds. In: Gettys, L, Haller, W, Petty, D (Eds.), *Biological Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook*. third ed. **Aquatic Ecosystem Restoration Foundation**, USA, pp. 71–88.

Nichols SA (1991) The interaction between biology and the management of aquatic macrophytes, *Aquatic Botany*, 41:225-252.

Odum EP (1985) **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana, 434 p.

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. **Draft Guidance document on simulated freshwater lentic field tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms)**. July, 2004, 26p.
<http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>

Otis CH (1914) The transpiration of emerged water plants: its measurements and relationships. **Bot. Gaz** 58:457-494.

Pompeo M (2008) Monitoramento e manejo de plantas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis** 12:406-424.

Pitelli RLCM, Toffaneli CM, Vieia EA, Pitelli RA, Velini ED (2008) Dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório de Santana, RJ. **Planta Daninha** 26(3):473-480.

Ronchi CP, Silva AA, Miranda GV, Ferreira LR, Terra AA (2002) Misturas de herbicidas para o controle de plantas daninhas do gênero *Commelina*. **Planta Daninha** 20:311-318.

Rosa CS, Antunes RD, Pitelli RA (2009) Avaliação comparativa das perdas de água por evapotranspiração em mesocosmos colonizados por diferentes macrófitas aquáticas. **Planta Daninha** p 441-445.

Salas RA, Burgos NR, Tranel PJ, Singh S, Glasgow L, Scott RC, Nichols RL (2016) Resistance to PPO-inhibiting herbicide in Palmer amaranth from Arkansas. **Pest Manag Sci** 72:864–869.

Sandrini JZ, Rola RC, Lopes FM, Buffon HF, Freitas MM, Martins CDMG, Da Rosa CE (2013) Effects of glyphosate on cholinesterase activity of the mussel *Perna perna* and the fish *Danio rerio* and *Jenynsia multidentata*: In vitro studies. **Aquatic Toxicology**, 130:171-173.

Senseman, SA (2007) Herbicide handbook. 9th ed. **Weed Science Society of America. Lawrence, KS**.

SERA (Syracuse Environmental Research Associates, Inc.). **Imazamox Human Health and Ecological Risk Assessment**. USDA Forest Service Contract: AG-3187-C-06-0010, Final Report, 2010. Acessado em: http://www.fs.fed.us/foresthealth/pesticide/pdfs/052-24-02a_Imazamox.pdf.

Silva AF, Cruz C, Rezende FRL, Yamauchi AKF, Pitelli RA (2014) Copper sulfate acute ecotoxicity and environmental risk for tropical fish. **Acta Scientiarum Biological Sciences** 36(4):377-381.

Souza ELC, Foloni LL, Filho JT, Velini ED, Siono LM, Silva JRM (2017) Half-Life of Glyphosate on the Control of Water Hyacinths in Water Tanks. **Journal of Water Resource and Protection** 9:470-481.

Stone CP, Smith CW, Tunison JT (1992) Alien plant invasions in native ecosystems of Hawai'i: management and research. **University of Hawai'i**.

Tanaka RH, Velini ED, Martins D, Bronhara AA, Silva MAS, Cavenaghi AL, Tomazela MS (2002) Avaliação de herbicidas para o controle de egéria em laboratório, caixa d'água e represa sem fluxo de água. **Planta Daninha** 20:73-81.

Tan S, Evans RR, Dahmer ML, Singh BK, Shaner DL (2005) Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest management science** 61(3):246-257.

Tessmann DJ (2011) Controle biológico: Aplicações na área de ciência das plantas daninhas. Cap. 4, p.80-94. In: OLLIVEIRA, Jr. et al. (Eds), **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**.

Tucci CEM (2004) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 3ª edição, Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

Vargas L, Silva AA, da Borém A, Rezende ST, Ferreira FA, Sediya T (1999) **Resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Viçosa, MG: UFV, 131p.

Von Sperling M, Gonçalves RF (2001) Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. In. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final** 6:17-67.

Wakabayashi K, Böger P (1999) General physiological characteristics and mode of action of peroxidizing herbicides. In **Peroxidizing Herbicides** 164–190.

Yadav IC, Devi NL, Syed JH, Cheng Z, Li J, Zhang G, Jones KC (2015) Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. **Science of the Total Environment** 511:123-137.

CAPÍTULO 2 - Manejo químico de macrófitas aquáticas com glyphosate e saflufenacil em condição simulada de várzea alagada

RESUMO - A eficácia de herbicidas para controle de macrófitas aquáticas serve para a tomada de decisão de sua utilização em programas de manejo, procedimentos de aplicação e monitoramento dos possíveis efeitos ambientais. O objetivo foi avaliar a eficácia de herbicidas a base de glyphosate e saflufenacil para o controle de *Eichhornia crassipes*, *Hedychium coronarium*, *Pistia stratiotes* e *Urochloa arrecta* em condição simulada de várzea alagada. Os tratamentos foram: glyphosate (1440 g i.a. ha⁻¹), saflufenacil (120 g i.a. ha⁻¹), glyphosate + saflufenacil (1440 + 42 g i.a. ha⁻¹), glyphosate + saflufenacil (1440 + 82 g i.a. ha⁻¹) e glyphosate + saflufenacil (1440 + 168 g i.a. ha⁻¹), aplicados quando a ocupação do mesocosmo foi de 80-90% (60 dias após o transplante), com a aplicação complementar de glyphosate (1680 g i.a. ha⁻¹) aos 75 dias após a primeira aplicação dos herbicidas. Para *H. coronarium* e *P. stratiotes* as misturas de herbicida apresentaram melhor controle, enquanto para *E. crassipes* e *U. arrecta* glyphosate isolado foi mais eficaz. Na aplicação sequencial de glyphosate para a *U. arrecta*, *P. stratiotes* o controle foi bom até 30 dias após a aplicação enquanto para *E. crassipes* o controle foi de 100% com a aplicação complementar de glyphosate. A mistura de herbicidas é mais eficaz que os herbicidas isolados, e a aplicação sequencial é uma estratégia importante para controle de macrófitas aquáticas com facilidade de rebrota e para corrigir falhas de cobertura.

Palavras-chave: herbicidas, controle químico, plantas exóticas, ambientes aquáticos.

2.1 Introdução

No Brasil, estima-se que cerca de 6% do território seja coberto por áreas alagáveis, o que, somado às características das regiões tropicais, favorece a ocorrência de várias espécies de macrófitas aquáticas tanto em ambientes aquáticos naturais como artificiais, sendo as espécies *E. crassipes*, *Egeria* spp., *Eleocharis* sp., *Ludwigia* spp., *Oxycaryum cubense*, *P. stratiotes*, *Salvinia* spp. e *T. dominguensis* consideradas com maior grau de crescimento (Bianchini Jr. et al., 2010), além de espécies exóticas invasoras como a braquiária d'água (*U. arrecta*) e o lírio do brejo (*H. coronarium*).

Estas áreas são consideradas muito vulneráveis, e as atividades humanas, a descarga de poluentes e fertilizantes (Von Sperling, 2001) e as mudanças no nível da água são fatores capazes de induzir a grandes mudanças nas taxas de sucessão das comunidades de vegetações aquáticas (Lan et al., 2010; Marchettia and Scarabotti, 2016). Estas plantas prejudicam os múltiplos usos da água e podem promover prejuízos na navegação, alteração nos padrões de qualidade da água, na captação de água, na geração de energia elétrica, aumentar a evapotranspiração de água e podem hospedar organismos vetores de doenças (Kadlec e Wallace, 2009; Gettys et al., 2014).

Para redução dos prejuízos causados pelas invasões de macrófitas em ambientes aquáticos, áreas úmidas, várzeas ou áreas alagadas é necessário o uso de medidas de controle. Para tanto, é levado em consideração o melhor procedimento a ser empregado e a importância do conhecimento do ecossistema aquático e seus usos múltiplos (Gibbons et al., 1994). Além de considerar o tipo ecológico e a biologia da planta aquática, o que facilita na tomada de decisão para o manejo (Nichols, 1991).

O controle químico tem sido estudado devido à eficácia e a ótima relação custo/benefício (Gettys et al., 2014) e teve sua aprovação para o controle de macrófitas, com respaldo legal no Brasil após a sua regulamentação pela Resolução nº 467 (CONAMA, 2015), que é uma medida necessária para conter o aumento de incidência de infestação de plantas aquáticas nos diversos cenários e ambientes aquáticos.

Alguns herbicidas se destacam no controle de plantas aquáticas como 2,4-D (Wersal et al., 2010), penoxsulam e imazamox para *E. crassipes* e *Salvinia minima* (Mudge, 2013); diquat para *E. crassipes*, *Schoenoplectus californicus* e *Pistia stratiotes* (Mudge et al., 2014); imazapyr e glyphosate para *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *Salvinia molesta*, *Salvinia herzogii* e *Urochloa subquadrifida* (Cruz et al., 2015a; Cruz et al., 2015b); glyphosate, 2,4-D e diquat para *U. arrecta*, *Hedychium coronarium*, e *Myriophyllum aquaticum* (Cerveira Jr. et al., 2019), imazamox para *Eichhornia crassipes* (Garlich et al., 2019) e imazamox para *S. molesta* (Garlich et al., 2020).

Neste contexto, é necessária a avaliação dos herbicidas em condições de laboratório, câmaras de crescimento, casa de vegetação, microcosmos e mesocosmos (Getsinger et al., 2008). Para melhor avaliar a eficácia e os possíveis efeitos dos herbicidas no meio ambiente pode-se utilizar a simulação ambiental com emprego de unidades de ensaio controlado, chamados mesocosmos, definidos como ecossistemas experimentais ao ar livre, sendo possível simular condições próximas do real (Odum, 1985). Este modelo de estudo tem sido utilizado para determinar a eficácia de diversas substâncias, tais como ácido acético, aminopyralid, flumioxazin, fluridone, imazamox, imazapyr, penoxsulam e triclopyr no controle de *Butomus umbellatus* (Madsen et al., 2017), *Myriophyllum spicatum* e *M. sibiricum* (Netherland e Willey, 2017) e florypyrauxifen-benzyl para *M. spicatum* (Beets et al., 2019).

Dentre os herbicidas, algumas moléculas têm potencial para serem utilizadas no controle de macrófitas aquáticas, tais como glyphosate e saflufenacil. Glyphosate [N-(fosfonometil) glicina] é não-seletivo, sistêmico, pós-emergente (Amarante Jr. et al., 2002) e atua na inibição da enzima EPSPS (5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase) que catalisa as reações de síntese de aminoácidos aromáticos (Sandrini et al., 2013). Saflufenacil é inibidor da protoporfirinogênio IX oxidase (PPO) e em mistura com o glyphosate proporciona controle mais rápido e eficaz (Agostineto et al. 2016). A utilização de misturas de herbicidas tem como o objetivo aumentar o espectro de controle das macrófitas aquáticas, reduzir as doses aplicadas, diminuir os custos de controle e operação.

O plano de manejo de controle de macrófitas aquáticas deve levar em consideração as características ecológicas e a capacidade de ocupação de diferentes habitats, pois a sucessão ecológica ocorre com o surgimento de espécies emergentes,

submersas e flutuantes (Thomaz, 2002). Além disso, há possibilidade de ocorrência de plantas consideradas secundárias, exóticas invasoras (Chiarotti et al., 2018) e de rebrotas no processo de colonização e sucessão após o controle inicial. Este fato pode trazer uma nova organização no sistema aquático, como novas áreas de refúgio, reprodução de espécies aquáticas, novo padrão de ocupação de bordadura e uma heterogeneidade espacial do ambiente.

O uso de herbicidas para o controle de macrófitas aquáticas e algas é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo, uma vez que, afetam diretamente os ambientes aquáticos (Cruz et al., 2015; Garlich et al., 2016). A avaliação da eficácia de controle de macrófitas aquáticas serve de embasamento para a tomada de decisão de utilização de herbicidas em programas de manejo, procedimentos de aplicação e monitoramento dos possíveis efeitos ambientais da aplicação, fundamental para entender a dinâmica ambiental dessas moléculas nos diversos compartimentos ambientais aquáticos.

2.2 Objetivos

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia biológica dos herbicidas glyphosate e saflufenacil isolados e em mistura para o controle de macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* e as flutuantes *Eicchhonia crassipes* e *Pistia stratiotes*, simulando uma área de várzea alagada em condição de mesocosmos.

2.3 Material e Métodos

2.3.1 Material vegetal e condição experimental

O cultivo prévio das macrófitas aquáticas foi realizado em caixas plásticas com capacidade de 250 litros, preenchidas com substrato formado por areia grossa, matéria orgânico e solo argiloso (1:1:1 v v⁻¹) e com fluxo contínuo de água. Foram selecionadas plantas saudáveis para serem transplantadas aos mesocosmos.

Para o desenvolvimento dos experimentos foram utilizados 18 mesocosmos constituídos por tanques compostos por bolsão confeccionado em vinilona (0,80 m de altura x 1,90 m de diâmetro) para 1860 L e com entrada e saída de água pela superfície do sistema com fluxo de 250 ml min.

Para a montagem da área de várzea foi colocado 125L de solo e 62,5L de esterco orgânico em metade da superfície de fundo do mesocosmo estabelecendo uma camada de 10 a 12 cm de altura, na outra metade uma lâmina de água de 12 cm. Em cada mesocosmo foram colocadas juntas, 5 plantas de *E. crassipes* e 5 de *P. stratiotes*, 9 fragmentos apicais de *U. arrecta* e 3 plantas de *H. coronarium* com o seu tubérculo fixo e foram mantidas por 60 dias nos mesocosmos para a colonização, com ocupação de 80 a 90% dos mesocosmos, antes da primeira aplicação dos herbicidas.

Os herbicidas testados foram glyphosate (480,0 g L⁻¹ de sal de isopropilamina – Rodeo, (Monsanto do Brasil) e saflufenacil (700,0 g i.a. Kg - Heat, Basf S/A) isolados e suas misturas.

2.3.2 Desenho experimental

O experimento foi constituído por 6 tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 repetições: 1) saflufenacil na dose de 120,0 g i.a. ha⁻¹; 2) glyphosate + saflufenacil em 1440,0 g i.a. ha⁻¹ + 42,0 g i.a. ha⁻¹; 3) glyphosate + saflufenacil em 1440,0 g i.a. ha⁻¹ + 84,0 g i.a. ha⁻¹; 4) glyphosate + saflufenacil em 1440,0 g i.a. ha⁻¹ + 168,0 g i.a. ha⁻¹; 5) glyphosate em 1440,0 g i.a. ha⁻¹; 6) testemunha sem aplicação de herbicidas. Uma aplicação complementar de glyphosate na dose de 1680,0 g i.a. ha⁻¹ foi realizada em todas as unidades experimentais (tratamentos) descritas acima aos 75 dias após a primeira aplicação (Figura 1).



Figura 1. Aplicação de herbicida sob condição de mesocosmo.

As aplicações de herbicidas foram realizadas com pulverizador costal de precisão a pressão constante de CO_2 de 1,72 bar e consumo de calda de 200 L ha^{-1} com 4 pontas tipo TEEJET 110 02. As condições ambientais durante da primeira aplicação foram: $27,2^\circ\text{C}$ de temperatura, 41,9% de umidade relativa e vento de 0,0 a $0,8 \text{ km h}^{-1}$; durante a aplicação complementar, as condições ambientais foram: $25,2^\circ\text{C}$ de temperatura, 58,9% de umidade relativa e vento de 0,4 a $1,5 \text{ km h}^{-1}$.

2.3.3 Avaliações

As avaliações de eficácia de controle foram realizadas aos 3, 7, 15, 21, 30, 45, 60 e 75 dias após cada aplicação, primeira e complementar, totalizando 150 dias de experimento. Para essas avaliações utilizou-se de escala de notas baseada em sinais de intoxicação e injúria das plantas, recomendada pela Sociedade Brasileira de Ciência das Plantas Daninhas, em que a nota 0 (zero) corresponde a nenhuma injúria

e a nota 100 corresponde à morte das plantas da unidade experimental (SBCPD, 1995 e ALAM, 1974).

Ao final do período experimental foi avaliada a massa seca (g) e calculado a porcentagem de redução de massa seca. Para obtenção da massa seca as plantas foram colocadas em estufa com circulação e renovação de ar (Solar – SL 102) a 65 °C até atingirem massa constante.

2.3.4 Análises estatísticas

Os resultados obtidos de eficácia por macrófitas e de massa seca foram submetidos à análise variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Primeira aplicação de herbicidas

Em geral, a eficácia depende do tratamento com herbicida e varia nas espécies de plantas. Além disso, alguns tratamentos alcançaram um nível de controle satisfatório (> 80%) aos 75 dias após a aplicação e ocorreu um expressivo recrescimento da planta para *H. coronarium*, *U. arrecta* e *P. stratiotes* com o uso de uma única aplicação de herbicida, de modo que uma aplicação complementar foi necessária para obter um alto nível de controle.

Sinais pontuais de clorose ocorreram aos 3 dias após aplicação (DAA) em *H. coronarium* expostas a saflufenacil (5% de injúria – Tabela 1), enquanto à exposição a glyphosate não acarretou sinais de intoxicação nesse período. Ainda nesse período, com a aplicação das misturas de saflufenacil + glyphosate ocorreram clorose de borda e pontos necróticos nas folhas com intensidade variada (6,6% a 10% de injúria).

Tabela 1. Porcentagem de controle das macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* submetidas à aplicação de glyphosate e saflufenacil, isolados e em mistura, em condição simulada de várzea alagada em mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	dias após aplicação – <i>Hedychium coronarium</i>							
	3	7	15	21	30	45	60	75
Safl (120)	5,0	14,3	16,3	18,3 b	20,0 c	21,6 b	21,6 b	21,6 b
Gly+Safl (1440 + 42)	6,6	15,0	26,6	45,0 ab	58,3 ab	73,3 a	79,0 a	83,0 a
Gly + Safl (1440 + 84)	10,0	16,6	28,3	56,6 a	66,6 a	75,0 a	73,3 a	65,0 ab
Gly + Safl (1440+168)	8,3	14,3	21,6	35,0 ab	43,3a bc	55,0 ab	63,3 ab	68,3 ab
Gly (1440)	-	10,0	15,0	22,3 ab	30,6 bc	53,3 ab	58,3 ab	62,6 ab
F trat.	0,83 ns	0,57ns	0,81ns	4,59*	6,30**	5,33*	4,23*	3,60 *
C.V. (%)	54,43	40,34	52,31	36,17	30,22	28,96	32,0 0	34,8 0
DMS	10,67	15,24	30,45	34,47	35,57	43,32	50,8 6	56,2 3
<i>Urochloa arrecta</i>								
Safl (120)	8,3	6,6 c	0,6 b	ssa	ssa	ssa	ssa	ssa
Gly+Safl (1440 + 42)	2,3	14,0 bc	58,3 a	70,	66,6	50 ab	43,3 ab	36,6 ab
Gly + Safl (1440 + 84)	8,3	22,0 b	45,0 a	71,6	61,6	36,6 b	26,6 b	18,3 b
Gly + Safl (1440+168)	5,0	20,6 bc	50,0 a	68,3	60,0	40,0 b	30,0 b	23,3 ab
Gly (1440)	0,6	37,6 a	47,6 a	67,6	89,0	85,0 a	73,3 a	63,3 a
F trat.	1,82ns	13,62* *	24,52* *	0,10ns	3,43ns	5,55*	5,16*	4,50 *
C.V. (%)	90,34	26,75	19,71	13,91	18,08	30,73	37,3 8	46,4 6
DMS	11,97	14,52	21,36	25,24	32,80	42,53	42,3 6	43,0 3

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação; Gly = glyphosate; Safl = saflufenacil, (ssa) sem sinais aparente.

Na aplicação de saflufenacil isolado ocorreu 21,6% de controle em 45, 60 e 75 DAA, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Os sinais de intoxicação foram clorose nas primeiras avaliações evoluindo para necroses pontuais, característico do mecanismo de ação do herbicida inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO ou PROTOX) (Geier et al., 2009; Grossmann et al., 2010) e um herbicida específico para controle de plantas eudicotiledônea justifica-se

a ineficácia para o *H. coronarium* uma monocotiledônea, similar a baixa eficácia de controle da aplicação de saflufenacil nas doses de 84,0 a 168,0 g i.a. ha⁻¹ para *Brachiaria d'água* (*Urochloa subquadrifida*) (Chiarotti et al., 2018).

Para 1440,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate isolado a maior eficácia foi de 62,6% em 75 DAA, com folhas necróticas de *H. coronarium* (Tabela 1). Em estudo realizado com a mesma macrófita em casa-de-vegetação nas doses de glyphosate (3600,0 e 4320,0 g i.a. ha⁻¹) ocorreu 90,0 e 91,5% de controle em 60 dias após aplicação (Cerveira Jr. et al. 2019), diferindo deste estudo devido à concentração do herbicida e as condições de aplicação.

No tratamento glyphosate + saflufenacil (1440,0 + 42,0 g i.a. ha⁻¹) ocorreu 83,0% de controle para *H. coronarium* em 75 DAA, pois a mistura com a menor concentração de ingrediente ativo saflufenacil apresentou eficácia considerada muito bom de acordo com a Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (Tabela 1).

Para *U. arrecta*, o saflufenacil isolado causou apenas sinais de cloroses pontuais em todas as avaliações, com eficácia inferior a 10,0% (Tabela 1). Similar ao saflufenacil nas doses de 84, 112, 140 e 168 g i.a. ha⁻¹ para *U. arrecta* apresentou controle máximo de 30% em 60 DAA em estudo realizado em casa-de-vegetação com ambiente controlado (Chiarotti et al., 2018).

As três misturas de glyphosate e saflufenacil apresentaram maior eficácia de controle de *U. arrecta* em 21 DAA, sem diferença estatística entre os tratamentos, com 70,0; 71,6 e 68,3%, respectivamente (Tabela 1). A partir de 30 DAA ocorreu rebrotas e a retomada no desenvolvimento da macrófita aquática. O saflufenacil ao contrário dos demais herbicidas inibidores de PPO apresenta propriedades físico-químicas que permitem a sua mobilidade via floema, se tornando sistêmico (Ashigh e Hall, 2010) e a combinação com glyphosate não causa diminuição significativa da sua eficácia (Dalazen et al., 2015). Para Enloe et al., (2020) a mistura de Glyphosate + imazapyr (4,2 + 0,56 kg ha⁻¹) controlou 100,0% de *Panicum repens* em 60 DAA e manteve um controle em torno de 99,0% até 330 dias.

Com o glyphosate isolado os primeiros sinais de controle (37,5%) de *U. arrecta* ocorreram em 7 DAA, diferindo dos demais tratamentos. Na avaliação de 45 DAA o controle foi considerado bom (85,0%), porém a eficácia diminuiu nos demais dias de

avaliação devido à ocorrência de rebrota das plantas e controle de 63,3% em 75 DAA (Tabela 1). As doses de 3360,0 e 3840,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + 0,5% vv⁻¹ de adjuvante Aterbane® apresentaram controle de 90,0% e 100,0% de *U. arrecta*, em casa de vegetação (Cruz et al., 2015b). As diferenças de controle podem estar relacionadas a condições experimentais, a concentração do herbicida ou a adição do adjuvante no momento da aplicação. Para Silva et al. (2018) a adição de adjuvantes e a escolha de pontas de aplicação é fundamental para o sucesso no controle de macrófitas aquáticas. O período de controle obtido com os herbicidas isolados ou em mistura foram menores que a aplicação de 0,42 e 1,20 kg ha⁻¹ de fluazifop-p-butyl e de 5,04 kg ha⁻¹ de sethoxydim em *Hymenachne amplexicaulis* com 180 dias de controle (Quincy e Enloe, 2020).

A alface d'água (*P. stratiotes*) em 3 dias após aplicação ocorreram sinais de intoxicação como necroses nas bordas das folhas (31,6%) com o saflufenacil isolado e com os das misturas de herbicidas, sem diferença estatística entre os tratamentos. Para o saflufenacil isolado, após 7 DAA, iniciou a rebrota, e em 14 DAA a porcentagem de controle diminuiu para 45,0% e diferiu estatisticamente e aos 75 DAA não foi observado nenhum sinal de intoxicação na *P. stratiotes* (Tabela 2).

Tabela 2. Porcentagem de controle das macrófitas aquáticas flutuantes *Pistia stratiotes* e *Eicchornia crassipes* submetidas à aplicação de glyphosate e saflufenacil, isolados e em mistura, em condição simulada de várzea alagada em mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	<i>Pistia stratiotes</i>							
	3	7	15	21	30	45	60	75
Safl (120)	31,6	54,0 b	45,0 b	35,6 b	25,0 b	11,0 b	ssa	ssa
Gly+Safl (1440 + 42)	18,3	88,6 a	94,0 a	96,0 a	91,6 a	78,3 a	70,0	65,0
Gly + Safl (1440 + 84)	21,6	92,3 a	97,0 a	99,0 a	93,3 a	82,0 a	73,3	66,6
Gly + Safl (1440+168)	30,0	94,6 a	98,3 a	98,6 a	91,6 a	79,3 a	71,6	65,0
Gly (1440)		92,3 a	97,3 a	99,0 a	93,3 a	75,0 a	61,6	51,6
F trat.	1,81 ns	76,76* *	225,63 **	168,55 **	99,61 **	76,55* *	2,15 ns	3,06 ns
C.V. (%)	32,62	4,01	3,09	4,35	6,63	9,22	8,85	11,14
DMS	21,68	9,09	7,17	10,03	15,08	16,15	16,01	18,09
Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	<i>Eicchornia crassipes</i>							
	3	7	15	21	30	45	60	75
Safl (120)	20,0	30,6 b	44,0 b	36,6 b	18,3 b	ssa	ssa	ssa
Gly+Safl (1440 + 42)	7,3	85,0 a	93,3 a	97,0 a	98,6 a	90,0	80,0 b	75,0 b
Gly + Safl (1440 + 84)	16,0	88,0 a	97,0 a	97,6 a	96,3 a	96,0	91,6 ab	88,3 ab
Gly + Safl (1440+168)	11,6	89,0 a	95,0 a	97,3 a	99,0 a	94,6	90,0 ab	81,6 ab
Gly (1440)		74,0 a	92,3 a	96,0 a	97,0 a	99,6	100 a	100 a
F trat.	1,42 ns	43,31* *	140,35 **	147,65 **	205,87 **	2,60 ns	7,46* *	5,64* *
C.V.(%)	57,80	8,82	3,92	4,52	5,23	4,51	5,75	9,01
DMS	20,78	17,38	8,88	10,33	11,52	11,22	13,60	20,32

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação; Gly = glyphosate; Safl = saflufenacil, (ssa) sem sinais aparente.

As misturas de herbicidas e o glyphosate isolado apresentaram controle considerado excelente em 21 DAA, não diferindo estatisticamente entre si, enquanto na avaliação de 30 DAA iniciou a rebrota (Tabela 2). A dose de glyphosate aplicada de forma isolada não foi suficiente para manter o controle da macrófita aquática, similar as doses de 480,0; 960,0; e 1440,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate (formulação Rodeo®) para *P. stratiotes*, com eficácia de 81,0% a 90,0% e ocorrência de rebrotas das plantas a partir de 30 dias após aplicação (Cruz et al., 2015 b).

Em 75 DAA, as misturas e o glyphosate isolado não diferem estatisticamente entre si, porém o glyphosate isolado apresentar diminuição no controle (51,6%), em relação aos demais tratamentos com média de 65,53% (Tabela 2), o que demonstra que a mistura de glyphosate + saflufenacil apresenta maior capacidade de controle de

P. stratiotes. A combinação de 35,0 g i.a. ha⁻¹ de penoxsulam + 16,6 g i.a. ha⁻¹ de carfentrazone e penoxsulam + 17,9 g i.a. ha⁻¹ de flumioxazin, não melhorou o controle de *P. stratiotes* em 56 dias após aplicação (Mudge e Netherland, 2014).

Para *E. crassipes* na avaliação de 3 DAA ocorreu diferença entre os herbicidas isolados. O saflufenacil apresentou sinais de necrose pontual, enquanto no glyphosate isolado, não foi observado nenhum sinal (Tabela 2). Aos 14 DAA ocorreu maior eficácia na aplicação de saflufenacil 44,0%, diferindo significativamente das demais doses testadas, porém, após esta avaliação surgiram rebrotas. (Tabela 4). Para a *Sagittaria montevidensis* (resistente a ALS e Fotossistema II) as doses de 112,5 e 150 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil o melhor controle foi em 14 DAA apresentaram controle de 67,6 e 71,2% (Moura et al., 2016), diferindo deste estudo para *E. crassipes*, em que o controle máximo foi em 7 DAA, 54,0%.

Para as misturas dos herbicidas o controle variou em torno de 96,0 a 99,0% até 30 dias após aplicação e, a partir desta avaliação ocorreu rebrotas (Tabela 2). Para o glyphosate isolado os primeiros sinais de intoxicação ocorreram em 7 DAA com clorose e pontos necróticos nas plantas, esses sinais foram evoluindo até causar a morte da *E. crassipes*, com eficácia de 100% em 60 DAA (Tabela 2), similar ao descrito para o aguapé em 30 e 45 DAA a eficácia foi de 100% nas doses de 2880,0; 3360,0 e 3840,0 g ha⁻¹ de glyphosate diferindo apenas no tempo necessário para a morte da planta e na concentração do herbicida (Cruz et al., 2015 a).

2.4.2 Aplicação complementar com glyphosate

A aplicação complementar de glyphosate foi testada para melhorar a eficácia das macrófitas aquáticas como o *H. coronarium* e *U. arrecta* ambas emergentes (Tabela 3) e das macrófitas aquáticas flutuantes *E. crassipes* e *P. stratiotes* (Tabela 4) devido ao crescimento/rebrota das macrófitas após a primeira aplicação de herbicidas. Em geral, o tratamento complementar melhorou a eficácia do controle durante 45 dias após a aplicação, porém um expressivo recrescimento da planta também ocorreu, principalmente para *P. stratiotes* e *U. arrecta*. Além disso, a eficácia da aplicação complementar em plantas de *H. coronarium* e *E. crassipes* era dependente do primeiro tratamento com herbicida.

Na aplicação sequencial de 1680,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate, o *H. coronarium* que se desenvolveu após a primeira aplicação não observou controle satisfatório até a avaliação de 75 + 15 dias após aplicação. Em 75 + 21 dias os melhores controle ocorreram na aplicação sequencial pós exposição às misturas de 1440,0 + 84,0 g i.a. ha⁻¹ e 1440,0 + 168,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + saflufenacil, mantendo esta eficácia até 75 + 75 dias com 92,5% e 77,5% de controle de *H. coronarium*, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Porcentagem de controle das macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* submetidas à aplicação complementar de glyphosate, após 75 dias da primeira aplicação de glyphosate e saflufenacil, isolados e em mistura, em condição simulada de várzea alagada em mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	<i>H. coronarium</i>							
	75+3	75+7	75+14	75+21	75+30	75+45	75+60	75+75
Safl (120) / Gly (1680)	0,0	7,0	16,5	21,0ab	23,5 bc	22,5 b	19,0 bc	12,5 bc
Gly+Safl (1440 + 42) / Gly (1680)	0,0	18,5	35,0	52,5ab	62,5 abc	62,5 ab	60,0 ab	52,5 abc
Gly + Safl (1440 + 84) / Gly (1680)	0,0	5,0	22,5	70,0 a	85,0 a	92,5 a	94,5 a	92,5 a
Gly + Safl (1440+168) / Gly (1680)	0,0	19,0	26,0	70,0 a	80,0 ab	82,0 a	79,5 a	77,5 ab
Gly (1440) / Gly (1680)	1,5	5,0	6,50	10,0 b	13,5 c	10,0 b	0,0 c	0,0 c
F trat.	1,00ns	0,98ns	3,86ns	8,05*	9,53*	14,38**	19,69**	11,09*
C.V.(%)	316,22	94,31	35,96	31,07	28,31	25,10	25,05	36,23
DMS	3,80	41,24	30,73	55,71	60,07	54,28	50,83	68,31
<i>U. arrecta</i>								
Safl (120) / Gly (1680)	18,3 a	77,3 a	86,6	91,6	83,3	70,6	48,3	40,0
Gly+Safl (1440 + 42) / Gly (1680)	6,0 b	67,6 ab	86,6	96,0	88,3	78,3	68,3	58,3
Gly + Safl (1440 + 84) / Gly (1680)	8,6 b	75,0 ab	86,6	91,6	86,6	75,0	66,6	60,0
Gly + Safl (1440+168) / Gly (1680)	10,0 b	59,3 b	84,0	95,3	90,0	78,3	66,6	56,6
Gly (1440) / Gly (1680)	10,6 ab	58,3 b	76,6	87,3	81,6	75,0	66,0	55,0
F trat.	6,78**	5,77*	2,06ns	1,77ns	0,98ns	0,24ns	1,42ns	1,64ns
C.V.(%)	28,56	9,30	6,20	4,89	7,04	14,67	19,20	20,14
DMS	8,23	16,88	14,03	12,15	16,27	29,75	32,60	29,23

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação; Gly = glyphosate; Safl = saflufenacil.

O glyphosate aplicado sequencial em *U. arrecta* apresentou os maiores controles sobre todos os tratamentos nas avaliações entre 75 + 14 dias a 75 + 45 dias, sem diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 3), mantendo controle satisfatório em torno de 70,0% até 75 + 45 dias, porém e 75+30 dias ocorreram

rebrotas e a eficácia da aplicação sequencial diminui até o final do período experimental atingindo o maior controle (60,0%) sobre a aplicação inicial de 1440,0 g i.a ha⁻¹ de glyphosate + 84,0 g i.a ha⁻¹ de saflufenacil (Tabela 3).

Em condição de mesocosmos foi mantido uma porcentagem de controle (57,5%) similar a este estudo em um período mais longo de avaliação (226 dias) com a aplicação inicial de 4320,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate + 0,5% de adjuvante Aterbane e manutenção de controle muito superior com 750,0 g i.a. ha⁻¹ de imazapyr com controle de 90,0% de *B. subquadripara* (Costa et al., 2012). As diferenças de eficácia podem estar relacionadas a dose, mecanismo de ação dos herbicidas, a adição de adjuvante ou o efeito guarda-chuva na condição de várzea dos mesocosmos, o que pode dificultar o contato com a planta.

Para *P. stratiotes* a aplicação sequencial apresentou excelentes resultados sobre todos os tratamentos entre 75 + 14 e 75 + 45 dias, sem diferença significativa entre as porcentagens de controle. Em 75 + 60 dias a eficácia promovida pelo glyphosate permaneceu em torno de 60,0% (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem de controle das macrófitas aquáticas flutuantes *Pistia stratiotes* e *Eirichhonia crassipes* submetidas à aplicação complementar de glyphosate, após 75 dias da primeira aplicação de glyphosate e saflufenacil, isolados e em mistura, em condição simulada de várzea alagada em mesocosmos.

Tratamentos (g i.a ha ⁻¹)	<i>Pistia stratiotes</i>							
	75+3	75+7	75+14	75+21	75+30	75+45	75+60	75+75
Safl (120) / Gly (1680)	8,0	54,3 b	82,6	88,3	83,3	79,0	63,3	44,3
Gly+Safl (1440 + 42) / Gly (1680)	14,3	65,0 ab	79,3	84,6	81,6	70,6	63,3	56,6
Gly + Safl (1440 + 84) / Gly (1680)	12,3	72,3 a	85,0	92,6	88,3	79,0	68,3	61,6
Gly + Safl (1440+168) / Gly (1680)	12,3	62,6 ab	76,6	85,0	79,3	70,0	56,6	45,0
Gly (1440) / Gly (1680)	9,3	50,0 b	77,6	85,0	80,6	73,3	60,6	41,6
F trat.	2,62ns	5,61*	0,84ns	1,04ns	0,90ns	1,58ns	0,76ns	1,78ns
C.V.(%)	24,25	10,62	8,21	6,71	7,70	8,01	13,57	22,79
DMS	7,34	17,37	17,71	15,71	17,10	16,06	22,79	30,55
<i>Eirichhonia crassipes</i>								
Safl (120) / Gly (1680)	16,0 b	77,5 ab	87,3 b	92,3 b	95,0 b	96,0	86,6 b	73,3 b
Gly+Safl (1440 + 42) / Gly (1680)	21,0 b	72,5 b	88,0 ab	98,6 ab	99,6 ab	99,6	100,0 a	100,0 a
Gly + Safl (1440 + 84) / Gly (1680)	13,5 b	67,5 b	92,3 ab	95,0 ab	97,6 ab	96,3	95 ab	93,3 a
Gly + Safl (1440+168) / Gly (1680)	17,5 b	81,5 ab	96,3 ab	99,3 a	99,6 ab	100,0	100,0 a	100,0 a
Gly (1440) / Gly (1680)	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0 a	100,0	100,0 a	100,0 a
F trat.	152,22*	6,99*	4,16*	5,04*	4,19*	1,09ns	6,10**	14,12*
C.V. (%)	12,69	8,35	4,96	2,60	1,81	3,45	4,23	5,70
DMS	17,11	26,73	12,37	6,79	4,80	9,12	10,97	14,30

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação; Gly = glyphosate; Safl = saflufenacil.

Para *E. crassipes* o glyphosate promoveu excelente controle até 75 + 45 dias sem diferença significativa de eficácia entre os tratamentos. Em 75 + 60 e 75 + 75 dias ocorreu menor controle na aplicação sobre o tratamento inicial de 120,0 g i.a. ha⁻¹ de saflufenacil (Tabela 4).

Na avaliação de massa seca em 75 + 75 DAA ocorreu diferença significativa entre os tratamentos não aplicados para a *U. arrecta* e *E. crassipes*, 1,39 kg e 1,69 kg de massa seca, respectivamente, mostrando a importância do manejo químico em condição de várzea alagada. Para *P. stratiotes* e *H. coronarium* não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos aplicados e não aplicados (Tabela 5).

Tabela 5. Massa seca (kg) e redução de massa (%) das macrófitas aquáticas ancoradas *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* e flutuantes *Eirrhonia crassipes* e *Pistia stratiotes* aos 150 dias, em condição simulada de várzea alagada a diferentes tratamentos herbicida.

Tratamentos* (g i.a. ha ⁻¹)	<i>Urochloa arrecta</i>	<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Hedychium coronarium</i>	<i>Eirrhonia crassipes</i>
Testemunha	1,39a (100)	0,09 (100)	0,13 (100)	1,69a (100)
Gly (1440) / Gly (1680)	0,02b (98,5)	0,04 (55,5)	0,04 (30,76)	0,00b (-100)
Safl (120) / Gly (1680)	0,40b (71,2)	0,07 (22,2)	0,02 (84,6)	0,02 b (98,8)
Gly+Safl (1440 + 42) / Gly (1680)	0,10b (92,8)	0,10 (-11,1)	0,01 (7,69)	0,00b (-100)
Gly + Safl (1440 + 84) / Gly (1680)	0,11b (92,0)	0,07 (22,2)	0,02 (84,6)	0,00b (-100)
Gly + Safl (1440+168) / Gly (1680)	0,07b (94,6)	0,15 (-66,6)	0,02 (84,6)	0,00b (-100)
DMS (5%)	0,801	0,135	0,139	0,615
CV	82,91	55,11	119,25	78,41
F	9,76**	1,66ns	2,22ns	28,40**

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

No manejo de macrófitas aquáticas, a aplicação sequencial de herbicidas é uma ferramenta importante, devido a facilidade de rebrotas das plantas e diversidade de espécies de plantas. Em condição de campo a aplicação de 0,84 g i.a. ha⁻¹ de fluazifop-p-butyl apresentou controle de 85,0% em 120 dias, mas não suficiente para manter o controle e a sua longevidade em *Panicum repens* e para *Urochloa mutica* (Enloe et al., 2020), porém aplicação sequencial de 0,42 e 1,20 kg ha⁻¹ de fluazifop-p-butyl e de 5,04 kg ha⁻¹ de sethoxydim aumentou significativamente o controle da *Hymenachne amplexicali*, com redução da cobertura vegetal entre 11% e 23%,

durante 11 meses (Quincy e Enloe, 2020). Em condição de mesocosmos, aplicação sequencial de 2880,0; 3360,0; e 3840,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate em três espécies de salvinias em 21 dias após a primeira aplicação resultou em aumento de controle de 17,0% para *Salvinia herzogii*, 23,7% para *S. molesta* e 4,0% para *S. oblongifolia* (Cruz et al., 2017)

2.5 Conclusões

A mistura de herbicidas é uma estratégia que pode ser utilizada no controle de algumas espécies de macrófitas aquáticas.

A aplicação complementar de herbicida pode ser utilizada em condições complexa intervenção, como a várzea, com melhor desempenho de controle das macrófitas aquáticas.

2.6 Referências

Agostineto MC, de Carvalho LB, Ansolin HH, de Andrade TCGR, Schmit R (2016) Sinergismo de misturas de glyphosate e herbicidas inibidores da PROTOX no controle de corda-de-viola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 15(1):8-15.

ALAM (1974) Asociacion Latinoamerica de malezas. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluacion em ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1:35-38.

Amarante Junior OP, Dos Santos TCR, Brito NM, Ribeiro ML (2002) Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Quim. Nova** 25:589-593.

Ashigh JJ, Hall C (2010) Bases for interactions between saflufenacil and glyphosate in plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 58(12):7335-7343.

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Versão 1.1.0.712. 2014.

Barmantlo SH, Schrama M, Hunting ER, Heutink RH, van Bodegom PM, Snoo GR, Vijver MG (2018) Assessing combined impacts of agrochemicals: Aquatic macroinvertebrate population responses in outdoor mesocosms. **Science of the Total Environment**, 631:341-347.

Beets J, Heilman M, Netherland MD (2019) Large-scale mesocosm evaluation of florpyrauxifen-benzyl, a novel arylpicolinate herbicide, on Eurasian and hybrid

watermilfoil and seven native submersed plants. **Journal of Aquatic Plant Management**, 57.

Bianchini Jr I, Almeida AA, Fushita AT, Cunha Santino MB, Maia AT (2010) Monitoramento das Macrófitas Aquáticas do Reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Estado de Tocantins, Brasil). **Augmdomus**, 2.

Cerveira JR WR, Silva AF, Cruz C, Pitelli RA, Martins D (2019) Herbicides for rooted aquatic macrophytes. **Planta Daninha** 37:e019175938.

Chiarotti LF, Pereira PC, Scannavino RHCP, Castro KS, Cerveira JR WR, Cruz C (2018) Eficácia de herbicidas isolados ou em mistura no controle da planta exótica invasora *Urochloa subquadrifida*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 17(2):e596.

Costa NV, Martins D, Rodella RA, Rodrigues-Costa ACP (2012) Alterações anatômicas foliares em plantas de *Brachiaria subquadrifida* submetidas à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha** 30(2):253-61.

CONAMA (2015) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 465. **Dispõe sobre critérios para 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 de outras providências**, 5p, 2015. Publicado no DOU no135, seção 1, p. 70-71.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli RA (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Dalazen G, Kruse ND, Machado SLDO, Balbinot A (2015) Sinergismo na combinação de glifosato e saflufenacil para o controle de buva. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 45(2):249-256.

Enloe SF, Quincy KH, Netherland MD, Laue DK (2020). Evaluation of fluazifop-P-butyl for para grass and torpedograss control in aquatic and wetland sites. **Journal of Aquatic Plant Management** 58:36-40.

Garlich N, Da Cruz C, Da Silva AF, Carraschi SP, Malaspina IC, Pitelli RA, Bianco S (2016) Diquat associated with copper sources for algae control: Efficacy and ecotoxicology. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 51:215-221.

Garlich N, Guarnieri CCO, Freitas RLG, Cervoni JHC, Cruz C, Ferreira MC (2019) Efficacy of Imazamox with Centrifugal Energy Spray Nozzle on *Eichhornia crassipes* and Economic Analysis of Control Viability. **Planta Daninha**, 37:e019194898.

Garlich N, Garcia GL, Oliveira AC, Santos KP, Pitelli RA, Ferreira MC, Cruz C (2020) Electrostatic spraying of imazamox to control the floating aquatic plant *Salvinia molesta* and its effects on environmental indicators of water quality. **Journal of Environmental Science and Health, part B**.

Geier PW, Stahlman PW, Charvat LD (2009) Dose responses of five broadleaf weeds to saflufenacil. **Weed Technology**, 23(2):313-316.

Getsinger KD, Netherland MD, Grue CE, Koschnick TJ (2008) Improvements in the use of aquatic herbicides and establishment of future research directions. **J. Aquat. Plant. Manage** 46:32–41.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

Gibbons MV, Gibbons HL, Sytsma MD (1994) **A citizens manual for developing integrated aquatic vegetation management plans**, Washington Department of Ecology, Water Quality Financial Assistance Program.

Grossmann K, Niggeweg R, Christiansen N, Looser R, Ehrhardt T (2010) The herbicide saflufenacil (Kixor™) is a new inhibitor of protoporphyrinogen IX oxidase activity. **Weed Science**, 58(1):1-9.

Kadlec RH, Wallace SD (2009) Treatment Wetlands (Second ed.), CRC Press, Taylor and Francis Group.

Lan Y, Cui B, Li X, Han Z, Dong W (2010) The determinants and control measures of the expansion of aquatic macrophytes in wetlands. **Procedia Environmental Sciences**, 2:1643-1651.

Madsen JD, Woolf TE, Wersal RM (2017) Flowering rush control on drawn-down sediment: Mesocosm and field evaluations. **Journal of Aquatic Plant Management**. 55:42-45.

Marchetti ZY, Scarabotti PA (2016) Macrophyte assemblages in relation to environmental, temporal and spatial variations in lakes of a subtropical floodplain-river system, Argentina. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, 225:82-91.

Moura DDS, Noldin JA, Galon L, Schreiber F, Martini AT (2016) Management of *Sagittaria montevidensis* resistant to ALS and PSII mechanism of action with saflufenacil associated with different adjuvants. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 15(2):148-156.

Mudge CR (2013) Impact of aquatic herbicide combinations on nontarget submersed plants. **Journal of Aquatic Plant Management**, 51(1):39-44.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of giant bulrush, water hyacinth, and water lettuce to foliar herbicide applications. **Journal of Aquatic Plant Management**, 52:75-80.

Netherland MD, Willey L (2017). Mesocosm evaluation of three herbicides on Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) and hybrid watermilfoil (*Myriophyllum spicatum* x *Myriophyllum sibiricum*): Developing a predictive assay. **Journal of Aquatic Plant Management**. 55:39-41.

Nichols SA (1991) The interaction between biology and the management of aquatic macrophytes, *Aquatic Botany*, 41:225-252.

Odum, EP (1985) **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana, 434 p.

Quincy K, Enloe SF (2020). Evaluation of fluazifop-P-butyl and sethoxydim for *Hymenachne amplexicaulis* control in mixed and monotypic emergent plant communities. **Journal of Aquatic Plant Management**, 58:105-111.

Sandrini JZ, Rola RC, Lopes FM, Buffon HF, Freitas MM, Martins CDMG, Da Rosa CE, (2013) Effects of glyphosate on cholinesterase activity of the mussel *Perna perna* and the fish *Danio rerio* and *Jenynsia multidentata*: In vitro studies. **Aquatic Toxicology**, 130:171-173.

SBCPD (1995) Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: **Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**. 42p.

Silva AF, Cerveira Jr WR, Ferreira MC, Cruz C (2019) Floating Macrophyte Control with Glyphosate According to Adjuvants and Spray Nozzles. **Planta Daninha** 36: e018168125.

Thomaz SM (2002) Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. **Planta Daninha** 20:21-33.

Von Sperling M, Gonçalves RF (2001) Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final. In. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final** 6:17-67.

Wersal RM, Madsen JD (2010) Combinations of Penoxsulam and Diquat as Foliar Applications for Control of Waterhyacinth and Common Salvinia: Evidence of Herbicide Antagonism. **J. Aquat. Plant Manage** 48:21-25.

CAPÍTULO 3 - Indicadores de qualidade de água após aplicação de glyphosate e saflufenacil para controle de macrófitas em mesocosmos

RESUMO - Análises dos nutrientes fósforo e nitrogênio total vem sendo realizada em estudos com macrófitas aquáticas para avaliação da dinâmica ambiental destes nutrientes. O objetivo deste estudo foi avaliar os indicadores ambientais após aplicação dos herbicidas glyphosate e saflufenacil isolados e em mistura e a aplicação complementar de glyphosate para o controle de plantas aquáticas simulando uma área de várzea. Analisou-se qualidade de água aos 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, e 150 dias após a primeira aplicação, clorofila *a* e feofitina *a* da água e plantas, demanda bioquímica química de oxigênio, fósforo total na água e nitrogênio total na água e na planta de *E. crassipes* aos 00, 30, 75, 105 e 150 dias após aplicação. As variáveis de qualidade de água, DQO, Nitrogênio e fosforo total apresentaram alterações significativa em relação a testemunha em determinado tempo de avaliação (30 e 105 DAA). A DBO₅ não apresentou diferença entre os tratamentos. Conclui-se que a aplicação de herbicida isolado e em mistura obteve pequenas alterações nas análises ambientais.

Palavras-Chave: Várzea alagada, plantas aquáticas, monitoramento ambiental, manejo químico.

3.1 Introdução

As plantas aquáticas são componentes dos ciclos bioquímicos de nitrogênio e fósforo nos ambientes aquáticos que influenciam na sedimentação, retenção de nutrientes e nas características físicas e químicas da água (Santos et al., 2020). Com o excesso de nutrientes e sua maior disponibilidade para as plantas aquáticas, podem ocorrer formação de colonizações monoespecíficas (Souza et al., 2020). Isso pode prejudicar os padrões de fluxo dos rios, transporte e navegação, atividades de esportes aquáticos, geração de energia elétrica e disponibilidade da água nos sistemas de irrigação, drenagem e para consumo humano e animal (Gettys et al., 2014; Hussner et al., 2017). Outro problema é a grande perda de água em áreas colonizadas por plantas aquáticas por evapotranspiração quando comparadas com a superfície de água livre (Rosa et al., 2009).

A *Urochloa arrecta*, monocotiledônea pertencente à família Poaceae, é uma planta perene e estolonífera que se reproduz por meio vegetativo, sendo originária da África (Kissmann, 2000). Esta planta foi introduzida no Brasil como forrageira, no entanto acabou tornando-se uma invasora muito agressiva em ambientes aquáticos causando redução na biodiversidade. O lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) é uma monocotiledônea da família Zingiberaceae, rizomatosa de hábito herbáceo perene, com reprodução por sementes e rizomas (Stone et al., 1992). *Pistia stratiotes* é pertencente à família Araceae, uma espécie flutuante com alta capacidade de multiplicação vegetativa e habilidade para regenerar-se a partir de pequenas porções da planta (Brundu et al., 2012). *Eichhornia crassipes* (aguapé) pertencente à família Pontederiaceae, é uma planta nativa tropical da América que foi introduzida como planta ornamental (Holm et al., 1977).

O uso de herbicidas para o controle é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo, uma vez que, afetam diretamente os ambientes aquáticos (Cruz et al., 2015; Garlich et al., 2016). A colonização excessiva de plantas aquáticas surge através de atividades antropogênicas por meio de resíduos industriais e domésticos (Maximiano et al., 2005), carreamento de fertilizantes (Von Sperling, 2011), processos erosivos e transporte de material particulado proveniente de mal práticas agrícolas (Yadav et al., 2015). Esses ambientes hídricos, após sofrerem

impactos e danos provocados pelo uso antrópico, tornam-se um ambiente com vulnerabilidade ambiental (Figueiredo et al., 2007), pois crescimento excessivo junto com a colonização monoespecífica dos ambientes aquáticos faz com que a vulnerabilidade aumente.

As análises dos nutrientes fósforo e nitrogênio total são análises que vem sendo realizada em estudos com macrófitas aquáticas para avaliação da dinâmica ambiental destes nutrientes (Henry-Silva et al., 2008; Henares et al., 2014). Outras análises como variáveis de qualidade de água, clorofila, análise de demanda bioquímica (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), durante a utilização do herbicida é de fundamental importância para o conhecimento dos possíveis efeitos da decomposição da matéria vegetal morta da aplicação e sobre a qualidade de água, para a tomada de decisão sobre a implantação de um plano de manejo químico com reaplicações (Cruz et al., 2015; Li et al., 2018; Vigiak et al., 2019).

No Brasil o controle de plantas aquáticas tornou-se ferramenta com respaldo legal por meio da Resolução nº 467, que dispõe sobre o uso de produtos ou processos para recuperação de ambientes hídricos (Conama, 2015), contudo a avaliação ambiental dos herbicidas é necessária (Getsinger et al., 2014). Esta medida é importante devido ao grande número de corpos hídricos brasileiros estarem impactados.

Uma forma de avaliar a eficácia e os possíveis efeitos dos herbicidas é a simulação ambiental com emprego de unidades de ensaio controlado, constituído por mesocosmos. A importância destes estudos definidos como ecossistemas experimentais ao ar livre por (Odum 1985) é simular condições próximas do real, pois os resultados obtidos podem trazer informações valiosas no processo de decisão quanto ao uso de produtos químicos em ambientes aquáticos (Martins et al., 2005; Guimarães et al., 2003; Rosa et al., 2009). Em estudos em condição de microcosmos ou mesocosmos é possível avaliar índices do equilíbrio da fauna e flora (OECD, 2004).

3.2 Objetivo

O objetivo deste estudo foi monitorar a qualidade de água avaliando pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}),

demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20^{\circ}\text{C}}$), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrogênio total e a concentração de clorofila *a* após aplicação dos herbicidas e a dinâmica ambiental dos possíveis efeitos da decomposição das plantas na qualidade de água.

3.3 Material e Métodos

O cultivo prévio das plantas aquáticas foi realizado em caixas plásticas com capacidade de 250 litros, preenchidas com substrato formado por areia grossa, esterco bovino e solo argiloso (1:1:1 v v⁻¹) e com fluxo contínuo de água. Foram selecionadas plantas saudáveis para ser transplantadas aos mesocosmos.

Para o desenvolvimento dos experimentos foram utilizados 18 mesocosmos constituídos por tanques compostos por bolsão confeccionado em vinilona (0,80 m de altura x 1,90 m de diâmetro) para 1860L e com entrada e saída de água pela superfície do sistema com fluxo de 250 ml min.

Para a instalação da área de várzea foi colocado 125,0L de solo e 62,5L de esterco orgânico em metade da superfície de fundo do mesocosmo estabelecendo uma camada de 10 a 12 cm de altura, na outra metade uma lâmina de água de 12 cm (Figura 1a). Em cada mesocosmo foram colocadas 5 plantas de aguapé (*E. crassipes*) e 5 de alface d'água (*P. stratiotes*), 9 fragmentos apicais de braquiária d'água (*U. arrecta*) e 3 lírio-do-brejo (*H. coronarium*). A colonização foi realizada por 60 dias nos mesocosmos para ocupação de 80 a 90% da área dos mesocosmos, simulando uma várzea alagada (Figura 1b).



Figura 1. Mesocosmo antes de colonizado e no momento de aplicação.

Após este período foi realizada a aplicação dos herbicidas, sendo testados glyphosate (480 g L⁻¹ de sal de isopropilamina – Rodeo, Monsanto do Brasil LTDA e saflufenacil (700 g i.a. Kg - Heat, Basf S/A) isolados e suas misturas. Os tratamentos avaliados foram: saflufenacil na dose foi 120 g i.a. ha⁻¹; glyphosate + saflufenacil a 1.440 g i.a. ha⁻¹ + 42 g i.a. ha⁻¹ (Mist 01); glyphosate + saflufenacil a 1440 g i.a. ha⁻¹ + 84 g i.a. ha⁻¹ (Mist 02); glyphosate + saflufenacil a 1440 g i.a. ha⁻¹ + 168 g i.a. ha⁻¹ (Mist 03); e o glyphosate na dose de 1440 g i.a. ha⁻¹ e controle (testemunha sem aplicação). Em 75 dias após aplicação (DAA) foi realizada a aplicação sequencial com o glyphosate na dose de 1680 g i.a. ha⁻¹ em todas as unidades experimentais (tratamentos) descritos acima. O experimento foi constituído por 6 tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 repetições.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de precisão a pressão constante de CO₂ de 1,72 bar e consumo de calda de 200 L ha⁻¹ com 4 pontas tipo AD 110.02 da Magnojet® e as condições ambientais no momento das aplicações foram: 27,2 °C de temperatura, 41,9% de umidade relativa e vento de 0,0 a 0,8 km h⁻¹. Na aplicação sequencial as condições ambientais eram 25,2 °C de temperatura, 58,9% de umidade relativa e vento de 0,4 a 1,5 km h⁻¹.

As análises de qualidade da água: pH, condutividade elétrica (μS cm⁻¹), temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mg L⁻¹) foram realizadas com sonda

multiparâmetro YSI aos 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, e 150 dias após a primeira aplicação (DAA).

Para avaliação da clorofila *a* foram coletadas amostras em 0, 30, 75, 105 e 150 DAA das 4 espécies de plantas e de água (CETESB, 2014) (Figura 2a). Para avaliação da DBO_{5;20°C} (Demanda Bioquímica de Oxigênio) foi realizada amostragem em 00, 30, 75, 105 e 150 dias após aplicação, seguindo a metodologia da (Caldwell e Langelier, 1948). Para avaliações de DQO foi realizado amostragem em 00, 30, 75, 105 e 150 dias após aplicação acordo com a (Adams, 1989) (Figura 2b).

Para análise de fósforo total na água foram amostras experimentais em 0, 30, 75, 105, 150 DAA em cada tratamento (Golterman et al., 1978) e para a determinação dos compostos nitrogenados na água, utilizou-se o método descrito por (Mackereth et al., 1978) em 0, 30, 75, 105, 150 DAA. Para as análises de nitrogênio e fosforo na planta de *E. crassipes* nas datas de 0, 30, 75, 105, 150 DAA (Allen et al., 1974).



Figura 2. Coleta de material foliar de *Hedychium coronarium* para análise de clorofila (a). Coleta de água para análise de nutrientes (b).

Os resultados de clorofila *a* para água e plantas; DBO, DQO, nitrogênio e fosforo da água foram transformados em raiz quadrada ($\sqrt{x+10}$) para obtenção da normalidade dos dados, os resultados nessas tabelas representam a média real das análises, porém com a estatística dos valores transformado. Após resultados de indicadores ambientais, biomassa fresca e seca foram submetidos a análise variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

3.4 Resultados e Discussão

3.4.1 Indicadores de qualidade de água

Em 30 dias após aplicação, ocorreu aumento da demanda bioquímica de oxigênio em todos os tratamentos com relação ao controle, com valores superiores nos tratamentos com aplicação dos herbicidas o que demonstra que o ciclo de decomposição das plantas aquáticas altera a demanda bioquímica de oxigênio a partir de 30 dias (Figura 2).

Em 75 DAA ocorreu diminuição nos valores de DBO_5 , o que pode indicar diminuição do efeito de degradação ou a lixiviação da matéria orgânica. Segundo a OMS (Organização mundial da saúde) recomenda-se uma DBO_5 de 6 mg L^{-1} para água de abastecimento público superficiais e subterrâneas, observa que no presente estudo mesmo após a aplicação os valores de $DBO_{5,20^\circ\text{C}}$ mantiveram no padrão, que é a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica disponível (Abba et al., 2017).

Em 105 DAA ocorre novo aumento da $DBO_{5,20^\circ\text{C}}$, momento após a aplicação sequencial do glyphosate e aumento da eficácia de controle, com início de um novo ciclo de decomposição das plantas (Figura 2). Esses valores obtidos estimam a extensão da oxidação biológica no ambiente aquático e são indicadores de poluição e excesso de matéria orgânica em água doce (Li et al., 2018).

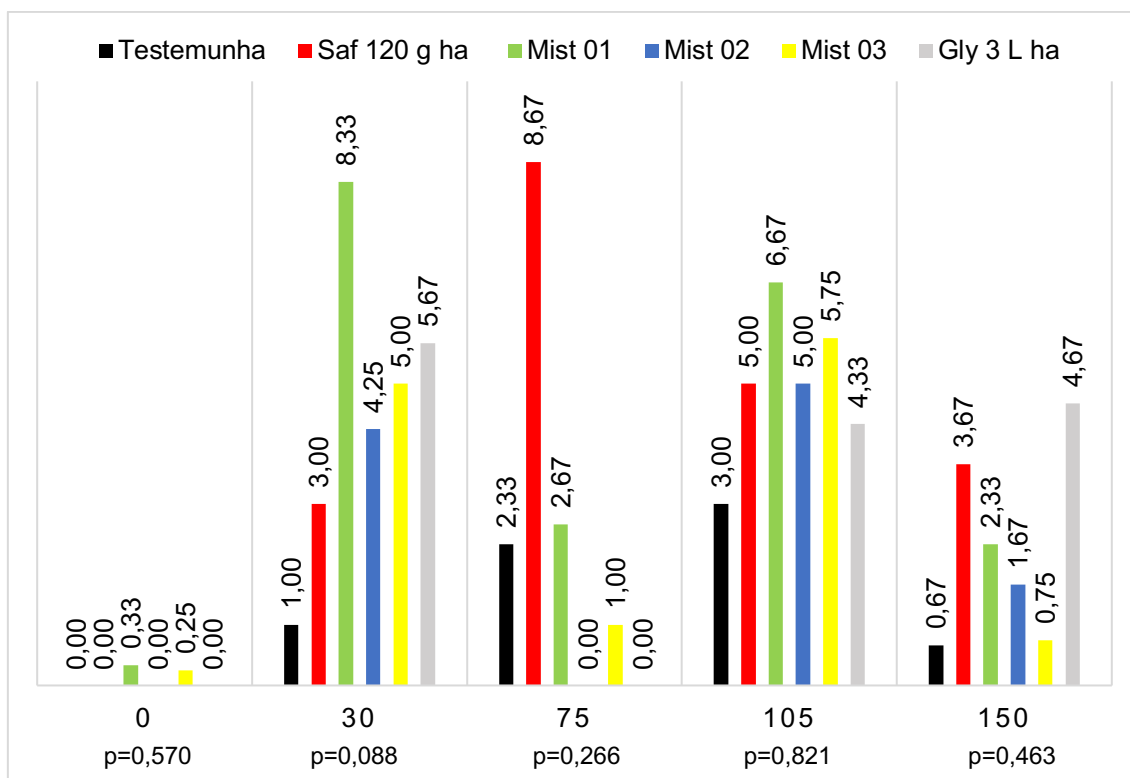


Figura 02. Médias dos valores de DBO_5 (mg L^{-1}), Teste de Tukey ($p > 0,05$) não difere estatisticamente entre si. Mist 01- glyphosate + saflufenacil $1.440 \text{ g i. a. ha}^{-1} + 42 \text{ g i. a. ha}^{-1}$; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil $1440 \text{ g i. a. ha}^{-1} + 84 \text{ g i. a. ha}^{-1}$; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil $1440 \text{ g i.a. ha}^{-1} + 168 \text{ g i. a. ha}^{-1}$

Seguindo as recomendações da (CONAMA 357/2015) a DBO_5 classifica água doce em classe I com valor abaixo de 3 mg L^{-1} . No presente estudo, em 150 DAA o valor médio entre os tratamentos foi de $2,23 \text{ mg L}^{-1}$, comprova que em condições de mesocosmo após o controle das plantas aquáticas o ecossistema se recuperou da decomposição de macrófitas aquáticas e os padrões de qualidade de água estão de acordo com exigido pela norma.

Para a DQO no momento da aplicação não apresentou diferença significativa entres os tratamentos. Na avaliação de 30 DAA as misturas e o glyphosate isolado diferiram das demais doses (Figura 3), este fato está relacionado a melhor eficácia após aplicação dos tratamentos com o herbicida glyphosate.

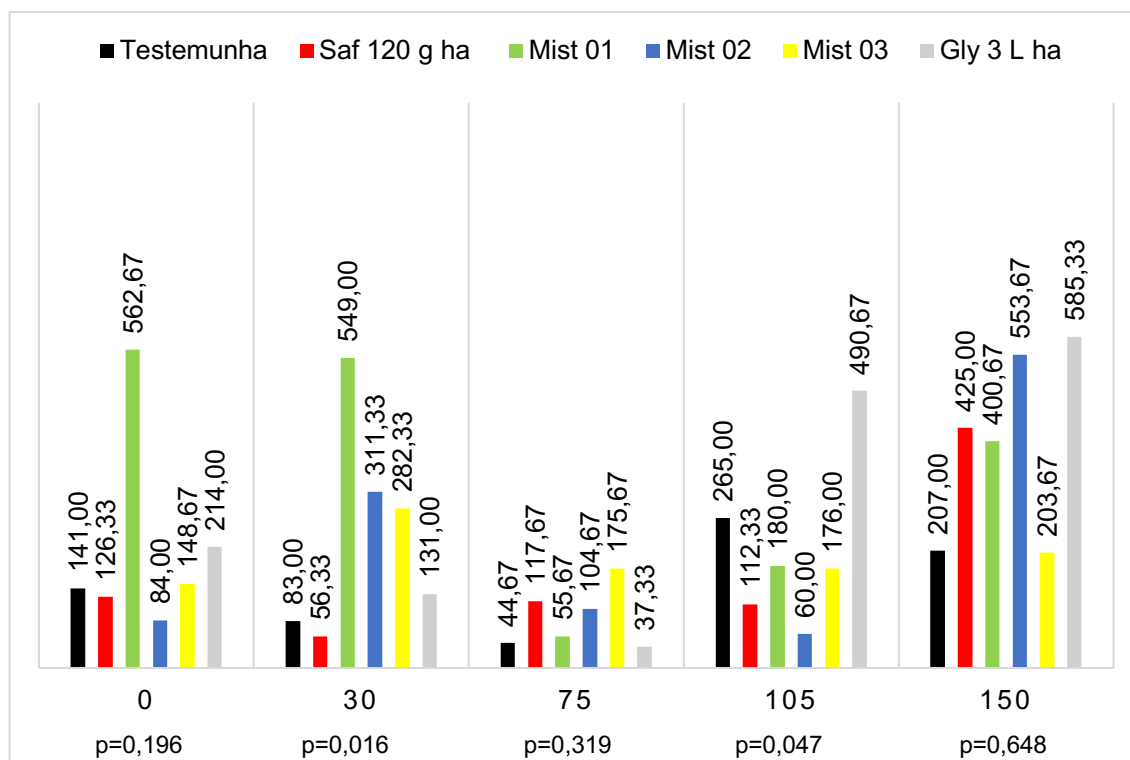


Figura 03. Médias dos valores de DQO (mg L^{-1}), Teste de Tukey ($p > 0,05$) não difere estatisticamente entre si. Mist 01- glyphosate + saflufenacil $1.440 \text{ g i. a. ha}^{-1} + 42 \text{ g i. a. ha}^{-1}$; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil $1440 \text{ g i. a. ha}^{-1} + 84 \text{ g i. a. ha}^{-1}$; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil $1440 \text{ g i.a. ha}^{-1} + 168 \text{ g i. a. ha}^{-1}$

Na aplicação complementar ocorre aumento nos valores de DQO, na avaliação de 105 e 150 DAA (Figura 3) este aumento pode ser devido a eficácia do herbicida e quantidade de matéria orgânica após a decomposição das macrófitas. A demanda química é um indicativo de material disponível no ambiente com possibilidade de oxidação, com os parâmetros de DQO e DBO_5 é importante para mensurar a degradabilidade das substâncias orgânicas e inorgânicas na água (Hu e Grasso, 2005; Dhanjai et al., 2018).

Para o fósforo total em 30 DAA não ocorreu diferença entre as doses avaliadas. Em 75 DAA os valores de fósforo aumentaram em todas as doses em relação a avaliação anterior (Tabela 01). O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas aquáticas e algas (Vidal e Neto, 2014) e pode ser proveniente de fontes naturais como decomposição de organismos de origem alóctones e artificiais como esgotos e fertilizantes agrícolas (Lyra et al., 2020) ou pela decomposição das macrófitas aquáticas.

Em 105 DAA o saflufenacil ($120 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) apresentou diferença significativa entre a mistura $1.440 + 42 \text{ g i.a. ha}^{-1}$, esta diferença pode ser devido a primeira aplicação não ter obtido um controle suficiente das macrófitas e após a aplicação sequencial uma maior liberação de fósforo foi observada (Tabela 1). Para a classificação de água classe III, segundo a CONAMA 357/2015 o fósforo total em ambiente lântico, deve ter volume máximo de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ ($50 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$), portanto observa-se que o valor da testemunha foi o que mais ultrapassou (mesocosmos sem aplicação).

Tabela 01. Médias dos valores de fosforo total ($\mu\text{g L}^{-1}$) na água após aplicação dos herbicidas.

Doses / Dias	00	30	75	105	150
Test.	21,57 b	6,43	100,27	110,05 ab	117,86
Saf 120	40,26 b	7,35	66,98	188,78 a	109,65
Mist 01	54,55 ab	5,40	28,94	44,23 b	84,87
Mist 02	62,44 ab	7,32	36,71	74,11 ab	20,01
Mist 03	41,52 b	6,68	24,94	115,74 ab	35,23
Gly 1.440	143,33 a	5,28	35,94	92,15 ab	179,23
F trat.	4,33*	0,66ns	1,67ns	4,86*	2,88ns
DMS	5,35	0,67	6,26	5,05	8,44

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Saf120 - saflufenacil $120 \text{ g i.a. ha}^{-1}$; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil $1.440 \text{ g i. a. ha}^{-1} + 42 \text{ g i. a. ha}^{-1}$; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil $1440 \text{ g i. a. ha}^{-1} + 84 \text{ g i. a. ha}^{-1}$; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil $1440 \text{ g i.a. ha}^{-1} + 168 \text{ g i. a. ha}^{-1}$ e Gly 1.440 - glyphosate $1.440 \text{ g i.a. ha}^{-1}$

Para análises de nitrogênio total na água observ-se que após aplicação dos herbicidas não apresentou diferença significativa nas análises realizadas (30, 75, 105 e 150 dias após aplicação (Tabela 2).

Tabela 02. Médias dos valores de Nitrogênio Total (mg L^{-1}) na água após aplicação dos herbicidas

Doses / Dias	00	30	75	105	150
Test.	0,28 b	0,32	0,32	0,16	0,14
Saf 120	0,86 ab	1,34	0,37	0,01	0,28
Mist 01	0,32 b	1,14	0,09	0,14	0,21
Mist 02	0,32 b	0,60	0,23	0,14	0,21
Mist 03	0,35 b	0,53	0,07	0,02	0,23
Gly 1.440	1,34 a	1,98	0,09	0,42	0,46
F trat.	5,28**	2,21ns	1,01ns	0,69ns	0,70ns
DMS	0,13	0,29	0,09	0,13	0,09

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Saf120 = saflufenacil 120 g i.a. ha^{-1} ; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha^{-1} + 42 g i. a. ha^{-1} ; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha^{-1} + 84 g i. a. ha^{-1} ; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha^{-1} + 168 g i. a. ha^{-1} e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha^{-1}

Para a classificação de nitrogênio em água classe I, segundo a CONAMA 357/2015 varia de acordo com o pH ($8,0 < \text{pH} < 8,5$ – 1,0 mg/L de N, $\text{pH} > 8,5$ – 0,5 mg/L de N). De acordo com os valores de pH, observa-se que na maioria das avaliações a classificação da água do presente estudo é de classe I, exceto em 0 e 30 DAA com as doses I e V que ultrapassou este valor.

Para a clorofila *a* na água observa aumento na concentração entre as avaliações 0 a 30 DAA, devido ao controle das plantas aquáticas após aplicação dos herbicidas, o que disponibilizou mais nutrientes na água, aumentando as atividades fotossintéticas das algas (Tabela 3). A elevada concentração do nutriente oriunda dos processos naturais das plantas e das aplicações de herbicidas, favorece o desenvolvimento de algas com o aumento da concentração de clorofila *a* na água (Buzelli e Cunha-Santino, 2013; Périllon e Hilt, 2019).

Tabela 3. Médias dos valores de Clorofila *a* água após aplicação dos herbicidas.

Doses / Dias	00	30	75	105	150
Test.	6,68	40,09	0,00 b	8,91	13,36
Saf 120	6,68	2,22	11,13 a	6,68	0,00
Mist 01	2,22	33,41	0,00 b	42,32	2,22
Mist 02	2,22	28,95	0,00 b	4,55	4,45
Mist 03	6,68	24,50	0,00 b	6,68	2,22
Gly 1.440	8,91	100,23	0,00 b	6,68	0,00
F trat.	0,72ns	1,06ns	32,40*	0,83ns	1,33ns
DMS	1,90	8,89	0,48	5,03	2,23

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Saf120 = saflufenacil 120 g i.a. ha⁻¹; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha⁻¹ + 42 g i. a. ha⁻¹; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha⁻¹ + 84 g i. a. ha⁻¹; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha⁻¹ + 168 g i. a. ha⁻¹ e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha⁻¹

Para classificação de água classe I, o parâmetro de clorofila *a* tem como valor máximo 10 µg L⁻¹ (CONAMA 357/2015), o que enquadra os valores da maioria das avaliações de clorofila na água dentro dos padrões da CONAMA 357 para água doce classe I. Em 75 e 150 DAA, a água com aplicação de herbicida apresentou melhores parâmetros em relação a água do controle (alta concentração de macrófitas aquáticas).

O manejo químico das macrófitas aquáticas em simulação de várzea não causou efeito na temperatura da água, pois algumas alterações nas datas de avaliações foram decorrentes de mudanças sazonais. Estes valores não apresentaram diferença significativa entre os herbicidas aplicados e a testemunha, com valores médios entre 19,06 e 29,73°C.

Para o oxigênio dissolvido (mg L⁻¹) na avaliação de 0 DAA (momento da aplicação) ocorreu diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4). De acordo com a CONAMA (357/2015) que classifica corpos de água e diretrizes ambientais, o oxigênio dissolvido para águas de classe I estar deve estar acima de 6 mg L⁻¹, e no presente estudo observamos que o oxigênio dissolvido está próximo dos padrões exigidos pela CONAMA para água de classe I.

Na primeira aplicação o controle mais efetivo das macrófitas ocorreu em 30 DAA (Saf (120) – 15,83%; Gly+Saf (1440+42) – 78,77%; Gly+Saf (1440+84) – 79,43%; Gly+Saf (1440+168) – 73,47%; Gly (1440) – 77,45% média global das macrófitas aos 30 DAA), portanto como a maior parte das plantas morreram,

posteriormente começaram a se decompor o que demonstra a validação dos resultados de oxigênio dissolvidos em 45 DAA. Pois observamos uma diferença estatística de todas as doses com relação ao controle, com exceção do saflufenacil isolado que não apresentou controle.

Em 45 DAA observou uma queda na concentração de oxigênio dissolvido, corrobora com os resultados de DBO_5 que apresentou um aumento no consumo de oxigênio em 60 DAA devido a decomposição. Portanto para determinar a sanidade e a saúde dos corpos hídricos após uma intervenção/aplicação química os estudos dos fatores químicos, físicos e microbiológicos devem estar interligados (USEPA 2005). No momento da segunda aplicação (75 DAA) não observou diferença significativa entre as doses testadas (Tabela 4).

Tabela 4. Valores da variável físico-química da água, Oxigênio mg L^{-1} em monitoramento de indicadores ambientais para o controle químico de plantas aquáticas em condições de várzea.

Doses / DAA	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Test.	5,99	5,25 ab	4,37	7,05 a	4,30 a	3,27	2,39	3,20	3,52	1,78	1,89
Saf 120	6,37	5,02 ab	4,61	6,11 a	4,53 a	3,71	2,11	3,09	2,44	2,01	1,84
Mist 01	6,04	2,85 c	2,90	1,41 b	1,84 b	4,16	2,95	2,57	3,23	2,24	1,90
Mist 02	5,83	3,67 bc	4,45	2,64 b	1,87 b	4,23	3,21	3,64	2,77	2,24	1,86
Mist 03	5,81	3,96 abc	3,57	1,53 b	1,81 b	4,64	2,62	2,62	2,43	2,12	1,77
Gly 1.440	6,17	5,62 a	3,69	2,71 b	2,59 b	3,70	2,11	3,10	2,58	1,98	1,45
F trat.	0,68n s	8,06**	1,63n s	20,44 **	26,70 **	2,10n s	2,13n s	1,37 ns	2,01 ns	0,54n s	0,84n s
DMS	1,22	1,79	2,45	2,52	1,16	1,59	1,46	1,60	1,50	1,13	0,89

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Saf120 - saflufenacil 120 g i.a. ha^{-1} ; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha^{-1} + 42 g i. a. ha^{-1} ; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha^{-1} + 84 g i. a. ha^{-1} ; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha^{-1} + 168 g i. a. ha^{-1} e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha^{-1}

Para os valores de pH ocorreu pequenas variações significativas em todos os períodos avaliados com valores entre 8,18 e 9,61. Estes valores presentes no estudo não interferem na vida aquática e estão dentro dos padrões de qualidade de água para o OMS, que são valores entre 6,5 a 9,0 (Gupta et al., 2017) e segundo a

resolução 357 do CONAMA (2015), o pH ideal para classificação de corpos de água classe I é que ele se encaixe entre 6,0 e 9,5.

Para condutividade elétrica ocorreu aumento nos valores em 15 e 30 DAA, com diferença significativa entre as doses e a testemunha (Tabela 5), que pode ser devido a liberação de íons na água pelo fato da decomposição das macrófitas aquáticas, pois a condutividade elétrica corresponde à medida da capacidade de íons presente na água para conduzir eletricidade e crescer proporcionalmente ao aumento da concentração de sais (Ribeiro et al., 2005).

Tabela 5. Valores da variável físico-química da água, Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$ em monitoramento de indicadores ambientais para o controle químico de plantas aquáticas em condições de várzea.

Doses / DAA	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Test.	91,73	103,43 b	107,23 b	112,23	113,30	117,06	130,83	135,83	120,80 ab	117,30 ab	118,36
Saf 120	90,93	127,26 ab	113,00 b	119,80	117,66	112,10	165,46	154,83	126,73 a	119,40 a	113,90
Mist 01	91,86	127,06 ab	108,83 b	121,50	120,60	118,50	142,06	120,23	110,73 b	93,76 c	100,16
Mist 02	87,90	153,60 a	143,40 a	116,63	123,13	116,70	155,70	119,30	114,40 ab	100,30 bc	106,30
Mist 03	91,36	119,53 ab	110,66 b	117,76	115,20	120,20	144,93	131,70	117,10 ab	102,36a bc	102,43
Gly 1.440	90,83	119,43 ab	113,53 b	125,66	116,00	118,40	144,60	133,73	124,60 ab	103,89a bc	100,80
F trat.	0,53ns	3,12*	15,62**	0,82ns	0,49ns	0,09ns	2,14ns	2,01ns	3,69*	6,82**	1,27ns
DMS	9,56	44,27	16,32	24,01	24,77	44,53	38,71	43,31	15,14	18,31	31,75

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Saf120 = saflufenacil 120 g i.a. ha^{-1} ; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha^{-1} + 42 g i. a. ha^{-1} ; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha^{-1} + 84 g i. a. ha^{-1} ; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha^{-1} + 168 g i. a. ha^{-1} e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha^{-1}

Em 90 DAA observa um aumento na concentração da condutividade elétrica em relação a avaliação anterior, que pode ser devido a aplicação complementar. Este aumento nas cargas elétricas dissolvidas na água que indica a decomposição de plantas ou matéria orgânica no corpo hídrico (Tavares, 2013; Buzelli e Cunha-Santino, 2013) isso ocorre devido a liberação de nutrientes na água durante o processo de decomposição das plantas (Martins e Pitelli, 2005).

Em estudo de simulação de efeitos ambientais em condição de mesocosmos é uma ferramenta importante para avaliar as características físico-químicas da água durante o processo de controle das macrófitas aquáticas (OCDE, 2004). Estas avaliações são importantes para um plano de manejo químico com os intervalos de reaplicação, levando em consideração a recuperação do corpo hídrico e as rebrotas das plantas aquáticas.

3.4.2. Clorofila *a* nas plantas, fosforo total (PT) e nitrogênio total (NT)

Para o fósforo total na planta aquática flutuante *E. crassipes*, no momento anterior a aplicação 0 DAA não houve uma diferença estatística entre as doses testadas, em 30 DAA havia somente planta na dose I e não apresentou diferença estatística em relação a testemunha. Em 75 DAA, observou-se que nas misturas 02 e 03 havia planta devido sua rebrota e diferindo entre as doses (Tabela 6).

Na avaliação de 105 DAA não havia mais planta de *E. crassipes* devido a boa eficácia de controle na aplicação sequencial. No final do estudo (150 DAA) com o surgimento de rebrota observa-se um valor baixo de fósforo total na mist. 02 e não diferenciando estatisticamente em relação ao controle (Tabela 9).

Tabela 6. Médias dos valores de fósforo total (PT) ($\mu\text{g L}^{-1}$) e nitrogênio total (NT) em aguapé *E. crassipes*.

Doses / Dias	PT	NT	PT	NT	PT	NT	PT	NT	PT	NT
	0	0	30	30	75	75	105	105	150	150
Test.	5,31	12,95	5,33	12,95	4,95 a	9,81 b	4,07	8,68	3,95 ab	6,91 b
Saf 120	5,36	14,25	5,31	16,54	4,33 ab	14,65 b	-	-	5,02 a	14,78 a
Mist 01	5,43	14,43	-	-	-	-	-	-	-	-
Mist 02	5,80	12,94	-	-	3,54 b	23,51 a	-	-	2,46 b	14,88 a
Mist 03	6,04	13,83	-	-	5,16 a	27,31 a	-	-	-	-
Gly 1.440	6,38	18,44	-	-	-	-	-	-	-	-
F trat.	0,96ns	2,64ns	0,01 ns	4,00 ns	9,05**	48,88*	-	-	6,99*	189,84**
DMS	1,85	5,971	0,86	4,98	1,09	5,18	-	-	2,11	1,44

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Saf120 = saflufenacil 120 g i.a. ha^{-1} ; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha^{-1} + 42 g i. a. ha^{-1} ; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha^{-1} + 84 g i. a. ha^{-1} ; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha^{-1} + 168 g i. a. ha^{-1} e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha^{-1}

Para o nitrogênio total na planta em 75 DAA com o surgimento de rebrotas nas misturas 02 e 03 apresentaram diferença estatística entre as demais doses testadas, este maior valor pode estar relacionado com a atividade dos sistemas fotossintéticos para propiciar que a planta se restabeleça (Tabela 6). No final do estudo (150 DAA) observa-se uma diferença estatística entre as plantas com a aplicação de herbicida e o controle, que demonstra queda na concentração de nitrogênio do controle, podendo ser devido o ciclo da planta, pois com 150 DAA a planta já se encontra em estágio de senescência.

As análises de clorofila *a* da *P. stratiotes* não apresentou diferença estatística nas primeiras avaliações (00 e 30 DAA), mas obteve uma queda na concentração de clorofila *a* entre as avaliações devido a eficácia dos herbicidas utilizados. Na avaliação de 75 DAA apresentou uma diferença estatística entre saflufenacil e gly + saf (1.440 + 42 g i. a. ha^{-1}), que pode ser devido ao aparecimento de rebrotas, devido a baixa eficácia (Tabela 7). Em 105 DAA, observou uma queda no teor de clorofila *a* da *P. stratiotes*, mesmo não apresentando diferença estatística entre si. Para a *E. crassipes*

na avaliação de 30 DAA houve uma diferença estatística entre o glyphosate isolado e as misturas (Tabela 7).

Tabela 7. Médias dos valores de Clorofila *a* das Plantas flutuantes após aplicação dos herbicidas.

Dias Doses	00		30		75		105		150	
	Ps	Ec	Ps	Ec	Ps	Ec	Ps	Ec	Ps	Ec
Test.	17,82	17,82	17,82	55,68 ab	51,23 ab	7,66	15,59	55,68	26,73	102,46
Saf 120	17,82	31,18	6,68	104,69 ab	13,36 b	10,54	22,27	46,77	40,09	57,91
Mist 01	37,86	26,73	2,22	4,45 b	93,55 a	13,77	20,04	-	20,04	-
Mist 02	31,18	11,13	2,22	0,00 b	60,14 ab	10,39	20,04	26,73	46,77	24,50
Mist 03	33,41	44,55	4,45	-	64,59 ab	12,00	26,73	46,77	26,73	13,36
Gly 1.440	6,68	31,18	24,50	360,85 a	17,82 ab	-	13,36	-	4,45	-
F trat.	0,68ns	0,61ns	0,85ns	4,44*	3,50*	0,63ns	0,20ns	0,24ns	2,56ns	3,76ns
DMS	5,57	5,09	4,22	12,77	5,39	13,26	4,10	10,05	5,43	6,44

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Ps = *Pistia stratiotes*; Ec = *Eichhornia crassipes*; Saf120 = saflufenacil 120 g i.a. ha⁻¹; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha⁻¹ + 42 g i. a. ha⁻¹; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha⁻¹ + 84 g i. a. ha⁻¹; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha⁻¹ + 168 g i. a. ha⁻¹ e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha⁻¹

No presente estudo a *P. stratiotes* obteve queda entre as avaliações de 75 e 105 DAA (Tabela 7). Para macrófita aquáticas flutuantes *Spirodela punctata*, em 7 dias após aplicação de glyphosate nas concentrações de 0,5 e 5,0 mg L⁻¹ reduziu significativamente os teores de clorofila *a* nas plantas (Santos et al., 1999) assim para ambos os estudos após a aplicação do herbicida foi possível observar uma queda na concentração de clorofila *a*.

A concentração de clorofila *a* na *U. arrecta* não apresentou diferença nas primeiras avaliações (00, 30 DAA), pois após a aplicação houve queda na pigmentação para algumas doses. Em 75 DAA observou um aumento na clorofila *a* e uma diferença significativa entre o glyphosate e algumas misturas. (Tabela 8).

Tabela 8. Médias dos valores de Clorofila *a* de Plantas emergentes após aplicação dos herbicidas.

Dias	00		30		75		105		150	
Doses	Ua	Hc	Ua	Hc	Ua	Hc	Ua	Hc	Ua	Hc
Test.	57,91	71,28	60,14	28,95	64,59 ab	24,50	167,06	44,55	129,19	66,82 _a
Saf 120	37,86	28,95	69,05	6,68	89,10 ab	28,95	147,01	37,86	37,86	20,04 _{ab}
Mist 01	77,96	26,73	4,45	8,91	155,92 _{ab}	2,22	84,64	22,27	55,68	24,50 _{ab}
Mist 02	62,37	26,73	82,41	11,13	245,02 a	44,55	89,10	20,04	91,32	4,45 b
Mist 03	20,04	17,82	4,45	2,22	160,38 _{ab}	22,27	129,19	31,18	106,92	0,00 b
Gly 1.440	55,68	22,27	294,03	11,13	17,82 b	35,64	44,55	46,77	102,46	13,36 _{ab}
F trat.	1,01ns	1,97ns	1,87ns	0,97ns	3,53*	0,83n _s	1,58ns	0,37ns	1,11ns	4,67*
DMS	6,53	4,18	14,11	4,04	9,38	6,42	8,72	7,19	9,39	4,22

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; ns = não significativo; Ua = *Uroclhoa arrecta*; Hc = *Hedychium coronarium* Saf120 = saflufenacil 120 g i.a. ha⁻¹; Mist 01 - glyphosate + saflufenacil 1.440 g i. a. ha⁻¹ + 42 g i. a. ha⁻¹; Mist 02 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i. a. ha⁻¹ + 84 g i. a. ha⁻¹; Mist 03 - glyphosate + saflufenacil 1440 g i.a. ha⁻¹ + 168 g i. a. ha⁻¹ e Gly 1.440 - glyphosate 1.440 g i.a. ha⁻¹

Para *H. coronarium* nos períodos de avaliação de 00, 30, 75 e 105 não ocorreu diferença estatísticas entre as doses testadas, mas é possível observar que em 30 DAA houve uma queda em relação ao 00 DAA que pode ser devido ao controle provocado pelo herbicida. Porém em 75 DAA a concentração de clorofila foi maior que em 30 DAA (Tabela 8).

Em 150 DAA houve uma diferença estatística entre as doses III e IV em relação a testemunhas, esta baixa na concentração de clorofila nas doses III e IV (92,5% e 77,5% de eficácia, respectivamente) está relacionado a eficácia de controle.

3.5 Conclusão

Conclui-se que a aplicação de herbicida isolado e em mistura com intervalo de reaplicação não afeta os parâmetros ambientais de qualidade de água, observou apenas algumas alterações transitórias.

As análises ambientais de nitrogênio e fósforo total na água tem a concentração variada de acordo com a eficácia e o período de rebrota das plantas que também alterou os padrões de nitrogênio total na *E. crassipes*.

3.6 Referências

Abba SI, Elkiran G (2017). Effluent prediction of chemical oxygen demand from the wastewater treatment plant using artificial neural network application. **Procedia computer science** 120:156-163.

Allen SE, Grinshaw HM, Parkinson JA, Quarmby C (1974) Chemical Analysis of Ecological Materials. Blackwell, **Oxford**, 565p.

Adams VD (1995) Water and Wastewater Examination Manual. Methods for the determination of organics, Chemical oxygen demand (COD). **Manual method dichromate reflux**. 1989. 168p.180.

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Versão 1.1.0.712. 2014.

Brundu G, Stinca A, Angius L, Bonanomi G, Celesti-Grapo L, D'auria G, Spigno P (2012) *Pistia stratiotes* L. e *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy). **EPPO Bulletin** 42(3):568-579.

Buzelli GM, Cunha-Santino, MBD (2013) Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água** 8:186-205.

Caldwell DH, Langelier WF (1948) Manometric measurement of the biochemical oxygen demand of sewage. **Sewage works J.** 20:202-218.

CONAMA (2015) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 465. **Dispõe sobre critérios para 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 da outras providências**, 5p, 2015. Publicado no DOU no135, seção 1, p. 70-71.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Dhanjai, SA, Zhao H, Chen J, Mugo SM (2018). Determination of Chemical Oxygen Demand: An Analytical Approach. **Reference Module in Chemistry, Molecular**

Sciences and Chemical Engineering. Encyclopedia of Analytical Science. 3rd Edition. 14p. doi:10.1016/b978-0-12-409547-2.14517-2.

Figueirêdo MCB, Teixeira AS, Araújo LDFP, Rosa MF, Paulino WD, Mota S, Araújo JC (2007) Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia sanitária e ambiental** 12(4):399-409.

Garlich N, Da Cruz C, Da Silva AF, Carraschi SP, Malaspina IC, Pitelli RA, Bianco S (2016) Diquat associated with copper sources for algae control: Efficacy and ecotoxicology. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 51:215-221.

Getsinger KD, Dibble E, Rodgers JH, Spencer D (2014) Benefits of Controlling Nuisance Aquatic Plants and Algae in the United States. **CAST Commentary**, QTA2014-1, 12 pp.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

Golterman HL, Clymo RS, Ohndtad MAM (1978) **Methods for physical and chemical analysis of fresh water**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publication. IBP Handbook. no. 8. 213 p.

Guimarães GL, Foloni LL, Piteli R, Martins AT (2003) Metodologia para avaliação de impacto ambiental de macrófitas em mesocosmos. **Planta Daninha** 21:37-42.

Gupta N, Pandey P, Hussain J (2017) Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. **Water Science** 31:11-23.

Henares MNP, Camargo AFM (2014) Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. **Acta Limnologica Brasiliensia** 26(4):420-428.

Henry-Silva GG, Camargo AFM (2008) Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p.181-188.

Holm LG, Plucknett DL, Pancho JV, Herberger JP (1977) The World's Worst Weed, distribution and biology. Honolulu: The **Univ. Press of Hawaii**. p. 609.

Hu Z, Grasso D (2005) Water analysis. Chemical Oxygen Demand. **Encyclopedia of Analytical Science** pp.325–330

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, Hofstra D (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. **Aquatic Botany** 136:112-137.

Kissmann KG (2000) **Uso de herbicidas no contexto do Mercosul**. In: congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas. Foz do Iguaçu: SBCPD, p. 92-116.

Li J, Luo G, He L, Xu J, Lyu J (2018) Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. **Critical reviews in analytical chemistry** 48(1):47-65.

Lyra GC, Yabuki LNM, Queluz JGT, Garcia ML (2020) Avaliação da qualidade da água da lagoa de Marapendi–Rio de Janeiro, RJ. **Holos Environment** 20:73-87.

Mackereth FIF, Heron J, Talling JF (1978) Water analysis: some revised methods for limnologist. **Freshwater Biological Association**, London: 121p.

Martins AT, Pitelli RA (2005) Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. **Planta daninha** 23:233-242.

Maximiano AA, Fernandes RO, Nunes FP, Assis MP, Matos RV, Barbosa CGS, Oliveira-Filho EC (2005) Utilização de drogas veterinárias, agrotóxicos e afins em ambientes hídricos: demandas, regulamentação e considerações sobre riscos à saúde humana e ambiental. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro 10:483-491.

Odum EP (1985) **Ecologia**. Rio de Janeiro: Interamericana, 434 p.

OECD (2004) **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Draft Guidance document on simulated freshwater lentic field tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms). July, 2004, 26p. <http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>

Périllon C, Hilt S (2019) Groundwater discharge gives periphyton a competitive advantage over macrophytes. **Aquatic botany** 154:72-80.

Ribeiro GM, Maia CE, Medeiros JF (2005) Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 09(1):15-22.

Rosa CS, Antunes RD, Pitelli RA (2009) Avaliação comparativa das perdas de água por evapotranspiração em mesocosmos colonizados por diferentes macrófitas aquáticas. **Planta Daninha** 27:441-445.

Santos NBC, Arruda ECP, Neto AGB, Oliveira AFM (2020) Assessing the effects of water quality on leaf morphoanatomy, ultrastructure and photosynthetic pigment content of *Salvinia auriculata* Aubl.(Salviniaceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety** 190:110061.

Santos DM, Pitelli RA, Banzatto DA (1999) Efeitos de herbicidas nos teores de clorofilas de *Spirodela punctata*. **Planta Daninha** 17:175-182.

Souza EL, Filho JT, Velini ED, Silva JR, Tonello KC, Foloni LL, Gonzalez GDD, Barbosa AC, Freato TA (2020) Efficacy of Glyphosate in Water Management and the Effects on Water Quality. **Journal of Water Resource and Protection** 12:50-59.

Stone CP, Smith CW, Tunison JT (1992) Alien plant invasions in native ecosystems of Hawai'i: management and research. **University of Hawai**.

Tavares LHS (2013) Uso racional da água em aquicultura. Jaboticabal: **Maria de Lourdes Brandel – ME**. 190p.

USEPA (2005) **Environmental Protection Agency**. Water sentinel online water quality monitoring as an indicator of drinking water contamination. EPA817-D-05-002, U.S., Water Security Division, Washington, D.C.

Vigiak O, Grizzetti B, Udias-Moinelo A, Zanni M, Dorati C, Bouraoui F, Pistocchi A (2019) Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. **Science of the Total Environment** 666:1089-1105.

Vidal TF, Neto JC (2014) Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi** 18:402-407.

Yadav IC, Devi NL, Syed JH, Cheng Z, Li J, Zhang G, Jones KC (2015) Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. **Science of the Total Environment** 511:123-137.

CAPÍTULO 4 – Manejo químico de macrófitas aquáticas com glyphosate e imazamox em condição de mesocosmo

RESUMO – A avaliação da eficácia de herbicidas em mesocosmos auxilia na tomada de decisão da escolha e o programa de manejo de macrófitas aquáticas de pode ser mais efetivo e seguro. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia dos herbicidas glyphosate e imazamox isolados e em mistura para o controle de macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* e as flutuantes *Eichhonia crassipes* e *Pistia stratiotes*, simulando uma área de várzea alagada em condição de mesocosmos. A primeira aplicação (tratamentos) de imazamox (800 g ia ha⁻¹), glyphosate + imazamox (1440 + 200 g ia ha⁻¹), glyphosate + imazamox (1440 + 400 g ia ha⁻¹) e glyphosate + imazamox (1440 + 600 g ia ha⁻¹) e uma aplicação complementar de imazamox (800 g i.a. ha⁻¹) foi realizada 75 dias após a primeira aplicação. A massa seca não apresentou diferença entre os tratamentos para *H. coronarium*. As misturas de herbicidas controlaram melhor *H. coronarium*, *U. arrecta* e *P. stratiotes*, e o imazamox isolado não foi eficaz. A aplicação complementar de imazamox (800 g ia ha⁻¹) proporcionou um controle satisfatório (> 90%) de *H. coronarium* em até 75 dias após a aplicação, enquanto o controle de *E. crassipes* foi de 100% até o final do estudo. A aplicação complementar de herbicidas é uma estratégia importante para controlar macrófitas aquáticas de difícil controle e para minimizar falhas em coberturas de aplicações anteriores devido a alta quantidade de plantas que vivem juntas nesses ambientes.

Palavras-chave: Várzea, aplicação complementar, controle químico, herbicidas.

4.1 Introdução

As macrófitas aquáticas monocotiledôneas *Urochloa arrecta* e o *Hedychium coronarium* são invasoras agressivas que causam redução na biodiversidade. Essas espécies de plantas aquáticas são consideradas invasoras, devido sua facilidade de reprodução e dispersão facilitada por propagação vegetativa e adaptação (Lu et al., 2018).

Urochloa arrecta pertencente à família Poaceae, é uma planta perene e estolonífera que se reproduz por meio vegetativo (Kissmann, 2000). O *Hedychium coronarium* pertencente à família Zingiberaceae, rizomatosa de hábito herbáceo perene, com reprodução por sementes e rizomas (Stone et al., 1992). A *Pistia stratiotes* é pertencente à família Araceae, uma espécie flutuante com alta capacidade de multiplicação vegetativa (Brundu et al., 2012). A *Eichhornia crassipes* pertencente à família Pontederiaceae, é uma planta nativa tropical da América (Holm et al., 1977).

As macrófitas aquáticas podem prejudicar os padrões da qualidade da água, transporte, navegação, atividades de esportes aquáticos, geração de energia elétrica, disponibilidade da água em sistemas de irrigação, canais de drenagem e abastecimento humano e animal (Gettys et al., 2014; Hussner et al., 2017). O controle químico é uma forma que pode ser utilizado para diminuir a pressão das macrofilas ancoradas e flutuantes. A viabilidade da utilização de herbicida no Brasil ocorreu em 16 de julho de 2015 com aprovação da resolução CONAMA no 467, pois a aplicação se destaca devido à eficácia satisfatória, relação benefício/custo e o sucesso histórico do uso (Cruz et al., 2015 a,b; Sartain e Mudge et al., 2018).

O glyphosate [N-(fosfonometil) glicina] é não-seletivo, sistêmico e atua na inibição da enzima EPSPS (5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase) que catalisa as reações de síntese de aminoácidos aromáticos (Sandrini et al., 2013). Este ativo é eficaz para as macrófitas ancoradas como, *Urochloa subquadriflora* (Chiarotti et al., 2018); *Alternanthera philoxeroides*, *M. aquaticum*, *Ludwigia grandiflora* (Emerine et al., 2010), *U. subquadriflora*, *Hedychium coronarium*, e *M. aquaticum* (Cerveira Jr. et al., 2019); e glyphosate com e sem adição de adjuvantes é eficaz para *M. aquaticum* (Cerveira Jr. et al., 2020). Além disso é eficaz para macrófitas flutuantes como *Pistia*

stratiotes, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia molesta* (Emerine et al., 2010); *E. crassipes*, *P. stratiotes*, *S. molesta* e *Salvinia herzogii* (Cruz et al., 2015b).

O imazamox pertencente ao grupo químico das imidazolinonas, inibidores de ALS e contém um grupo funcional metoximetil no anel piridina (Tan et al., 2005), é eficaz para monocotiledôneas e eudicotiledôneas (Nelson e Renner, 1998; Tan et al., 2005). No ambiente não é tóxico para invertebrados, abelhas, peixes, aves, mamíferos e pouco tóxico para as algas, não bioacumula, sua meia vida é de 5 a 15 dias dependendo da luminosidade e profundidade do corpo hídrico e a sua dissipação ocorre por diluição e fotólise (Sera, 2010). Nos Estados Unidos, o herbicida imazamox recebeu registro da USEPA - Agência de Proteção Ambiental para o controle de plantas flutuantes, submersas e emergentes (Glomski e Mudge, 2013). Estudos mostram sua eficácia para *E. crassipes* e *S. minima* (Mudge, 2013) *E. crassipes* empregando tecnologia de aplicação como volumes de calda (Garlich et al., 2019), *Enhydra sessilis* (Cerveira Jr et al., 2020), *S. molesta* (Garlich et al., 2020; Campos et al., 2012; Mudge e Netherland, 2014).

Diante deste cenário são necessários estudos obre a utilização de produtos químicos no controle de macrófitas para subsidiar a segurança ambiental do controle químico nos corpos hídricos brasileiros.

4.2 Objetivos

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficácia dos herbicidas glyphosate e imazamox isolados e em mistura para o controle de macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* e as flutuantes *Eichhonia crassipes* e *Pistia stratiotes*, simulando uma área de várzea alagada em condição de mesocosmos.

4.3 Material e Métodos

4.3.1. Material vegetal e condição experimental

O cultivo prévio das macrófitas aquáticas foi realizado em caixas plásticas com capacidade de 250 litros, preenchidas com substrato formado por matéria orgânico e solo argiloso (1:1 v v⁻¹) e com fluxo contínuo de água. Foram selecionadas plantas jovens e sadias (sem sinais visuais de deficiência ou doença) para ser transplantadas aos mesocosmos.

Para a realização do experimento foi utilizado 18 mesocosmos constituídos por tanques compostos por bolsão confeccionado em vinilona (0,80 m de altura x 1,90 m de diâmetro) para 1860 L e com entrada e saída de água pela superfície do sistema com fluxo de 250 ml min.

Para a simulação da área de várzea foi colocado 125,0 cm³ de solo e 62,5 cm³ de esterco orgânico em metade da superfície de fundo do mesocosmo estabelecendo uma camada de 12,0 cm de altura, na outra metade uma lâmina de água de 12,0 cm. Em cada mesocosmo foram colocadas 5 plantas de *E. crassipes* e 5 de *P. stratiotes*, 9 fragmentos apicais de *U. arrecta* e 3 plantas de *H. coronarium* com o seu tubérculo fixo, e foram mantidas por 60 dias nos mesocosmos para a colonização, ocupação de 80 a 90% dos mesocosmos, antes da primeira aplicação dos herbicidas.

Os herbicidas testados foram glyphosate (480,0 g L⁻¹ de sal de isopropilamina – Rodeo, (Monsanto do Brasil) e Imazamox (700,0 g i.a. Kg - Raptor, Basf S/A) isolados e suas misturas.

O experimento foi constituído por 6 tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 repetições, sendo os tratamentos: 800,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox (Imz); 1440,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate (Gly) + 200,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox (Imz); 1440,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate (Gly) + 400,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox (Imz); 1440,0 g i.a. ha⁻¹ de glyphosate (Gly) + 600,0 g i.a. ha⁻¹ de imazamox (Imz); testemunha sem aplicação de herbicidas (controle). Uma aplicação complementar de imazamox na dose de 800,0 g i.a. ha⁻¹ foi realizada em todas as unidades experimentais (tratamentos) descritas acima aos 75 dias após a primeira aplicação.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de precisão a pressão constante de CO₂ de 1,72 bar e consumo de calda de 200 L ha⁻¹ com 4 pontas tipo AD 110.02 da Magnojet®. As condições ambientais durante da primeira aplicação foram: 31,1°C de temperatura, 28,9% de umidade relativa e vento de 2,0 a 14,0 km h⁻¹.

¹; durante a aplicação complementar, as condições ambientais foram: 27,2 °C de temperatura, 48,5% de umidade relativa e vento de 0,8 a 5,6 km h⁻¹.

4.3.2. Avaliações

As avaliações de eficácia de controle foram realizadas aos 3, 7, 15, 21, 30, 45, 60 e 75 dias após cada aplicação, totalizando 150 dias de experimento. Para essas avaliações utilizou-se de escala de notas baseada em sinais de intoxicação e injúria das plantas, recomendada pela Sociedade Brasileira de Ciência das Plantas Daninhas, em que a nota 0 (zero) corresponde a nenhuma injúria e a nota 100 corresponde à morte da planta (SBCPD, 1995 e ALAM, 1974).

Ao final do período experimental foi avaliada a massa seca (g) e calculado a porcentagem de redução de massa seca. Para obtenção da massa seca as plantas foram colocadas em estufa com circulação de ar forçado a 65 °C até atingirem massa constante.

Os resultados obtidos de eficácia e de massa seca foram submetidos à análise variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

4.4 Resultados e Discussão

O imazamox isolado não apresentou controle satisfatório em nenhuma avaliação para as macrófitas aquáticas emergentes, com rebrota da *U. arrecta* em 30 DAA (Tabela 1). A baixa porcentagem de controle nas primeiras avaliações se deve ao mecanismo de ação, por se tratar de inibidor da síntese de ALS, os efeitos mais acentuados geralmente se manifestam após um período de 20 dias (Senseman, 2007). A diferença no tempo de controle da *U. arrecta* pode ser devido sua característica monocotiledônea da família Poaceae e se trata de uma planta de difícil controle.

As misturas de herbicidas para as macrófitas emergentes não obteve diferença no controle do *H. coronarium* (Tabela 1). A baixa eficácia de herbicidas para macrófitas

aquáticas pode estar relacionada com a quantidade de plantas aquáticas sobrepostas causando um efeito guarda-chuva, tanto em área de transição (várzea) quanto em lâmina d'água no momento da aplicação. As plantas expostas na coluna d'água são mais atingidas pelo herbicida e as partes que ficam submersas ou sobrepostas podem não ter contato com a calda, recolonizando os corpos hídricos após a morte das plantas mais expostas (Wersal e Madsen, 2010).

A mistura de 1440+600 g i.a. ha⁻¹ para *U. arrecta* foi a que apresentou melhor controle até a avaliação de 45 DAA, pois a partir de 45 DAA ocorreu reinfestação (Tabela 1). A *U. arrecta* em casa de vegetação obteve 100% de controle aos 30 DAA para a dose de 1680 g i.a. ha⁻¹ do glyphosate (Cerveira Jr et. al. 2019). Esta variação na eficácia pode ser devido a condição de mesocosmo, que simula um ambiente natural, e seus desafios no controle além da concentração diferente do herbicida.

A mistura de glyphosate + imazapyr (4,2 + 0,56 kg ha⁻¹) controlou 100,0% da cobertura de torpedograss (*Panicum repens*) em 60 dias após aplicação e manteve um controle em torno de 99,0% até 330 dias (Enloe et al., 2020), diferindo de todas as doses as testadas que apresentaram rebrotas a partir de 30 DAA (Tabela 1), um fato que é consideração vantajoso é a característica do imazapyr ser usado como herbicida não agrícola (Gonçalves et. al., 2001).

Tabela 1. Sinais de intoxicação (%) das macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* com aplicação de imazamox (Imz) isolado e em mistura (+) com glyphosate (Gly), em condição de mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	Dias após aplicação do herbicida							
	3	7	15	21	30	45	60	75
<i>Hedychium coronarium</i>								
Imz(800)	ssa	ssa	6,6 b	13,3	21,6	28,3 b	35,0	48,3
Gly+Imz(1440 +200)	ssa	ssa	10,0 ab	20,0	30,0	40,0 ab	50,0	56,6
Gly+Imz(1440 +400)	ssa	ssa	16,0 ab	26,6	31,6	40,0 ab	45,0	51,6
Gly+Imz(1440 +600)	ssa	ssa	18,3 a	26,6	35,0	43,3 a	50,0	57,3
F	-	-	4,96*	3,26n s	3,31n s	4,45*	2,00n s	0,47n s
DMS	-	-	10,91	16,01	14,12	14,12	22,64	28,23
<i>Urochloa arrecta</i>								
Imz(800)	ssa	ssa	13,3 b	21,6 b	18,3 b	11,6 b	7,33 b	3,3 b
Gly+Imz(1440 +200)	ssa	6,6	23,3 ab	36,6 ab	40,0 ab	30,0 b	25,0 b	21,6 b
Gly+Imz(1440 +400)	ssa	8,6	23,3 ab	33,3 ab	37,3 b	33,3 b	27,3 b	25,0 b
Gly+Imz(1440 +600)	ssa	13,3	25,0 a	50,0 a	68,3 a	70,0 a	66,6 a	60,0 a
F	-	4,33n s	4,56*	9,32* *	9,48* *	13,87 **	15,68 **	14,40 **
DMS	-	7,23	11,32	17,29	30,32	29,71	28,88	28,24

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey (5%). (ssa) sem sinais aparente e o tratamento foi excluído da análise estatística. F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente

Em estudo de eficácia com a *Enhydra sessilis*, uma macrófita aquática ancorada facilmente encontrada em ambientes de transições (água – solo), aplicou imazamox na dose de 600,0 g i.a. ha⁻¹ e em 45 DAA obteve eficácia de 72,5% e em 60 DAA com 81,0% (Cerveira Jr et al., 2020). Mesmo com a utilização de uma dose maior de imazamox (800,0 g i.a. ha⁻¹) não foi observado um controle significativo para o *H. coronarium* e a *U. arrecta* no mesmo período de avaliação (Tabela 1).

Para as macrófitas flutuantes após aplicação do imazamox isolado, a *E. crassipes* obteve um controle de 100% aos 75 DAA e a *P. stratiotes* com 54,0% em

21 DAA e partir deste período observou rebrota para a *P. stratiotes* (Tabela 2). As doses de 600 e 700 g i.a. ha⁻¹ de imazamox controlou 75,0% a 63,0% e o imazapyr com a mesmas doses observou controle de 70,0% e 60,0% para *Salvinia molesta*, respectivamente (Cruz et al., 2015 a).

A eficácia das misturas foi independente das doses para a *E. crassipes*, observou 100,0% de controle, e esta não foi avaliada na aplicação complementar. Para *P. stratiotes* as misturas de (1440,0 + 400,0 e 1440,0 + 600,0 g i.a. ha⁻¹) apresentaram uma eficácia similar durante todo período experimental com início de reinfestação em 30 DAA (Tabela 2). Esta reinfestação ou rebrota funciona como um mecanismo de defesa das plantas.

Tabela 2. Sinais de intoxicação (%) das macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* com aplicação de imazamox (Imz) isolado e em mistura (+) com glyphosate (Gly), em condição de mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	Dias após aplicação do herbicida							
	3	7	15	21	30	45	60	75
<i>Eichhornia crassipes</i>								
Imz(800)	ssa	2,3 b	48,3 b	63,3 b	83,3 b	93,3b	99,3	100
Gly+Imz(1440 +200)	15,6 a	60,0 a	81,6 a	96,0 a	98,3 a	98,3ab	99,6	100
Gly+Imz(1440 +400)	15,0 a	50,0 a	83,3 a	90,0 a	95,3 a	99,3 a	99,6	100
Gly+Imz(1440 +600)	16,6 a	61,6 a	93,0 a	96,0 a	99,0 a	100 a	100	100
F	0,06ns	19,11**	16,45**	21,24*	7,97**	6,09*	0,89ns	-
DMS	14,43	28,92	21,75	15,32	11,69	5,54	1,30	-
<i>Pistia stratiotes</i>								
Imz(800)	-	5,0 b	36,6 b	54,0 b	48,3 b	40,0 b	33,3 b	26,6 b
Gly+Imz(1440 +200)	8,0 a	55,0 a	72,6 a	78,33 ab	71,6 ab	69,0 ab	56,6 ab	45,0 ab
Gly+Imz(1440 +400)	13,3 a	53,3 a	86,6 a	91,0 a	88,0 a	84,0 a	76,6 a	71,6 a
Gly+Imz(1440 +600)	18,3 a	56,6 a	86,6 a	92,0 a	86,6 a	78,3 a	73,3 a	68,3 a
F	4,40ns	23,75**	14,19*	8,68*	7,13*	7,35*	5,19*	5,50*
DMS	10,69	23,26	28,38	27,18	31,26	32,66	39,40	40,82

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey (5%). (ssa) sem sinais aparente e o tratamento foi excluído da análise estatística. F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Em estudo com a implementação de tecnologia de aplicação com bico rotativo ocorreu controle de 98,7% de *E. crassipes*, em 30 DAA com 400 g i.a. ha⁻¹ de imazamox e volume de aplicação de 100 L ha⁻¹ (Garlich et al., 2019). Observou que a eficácia da *E. crassipes* em condições de mesocosmo se torna mais desafiadora, pois com o dobro da dose e volume de aplicação o controle foi observado a partir de 45 DAA (Tabela 2).

A aplicação complementar de imazamox foi realizada para controlar a rebrota/ressurgimento vegetal das espécies, em geral o dano causado era dependente das macrófitas. O grau de injúria observado após aplicação complementar do imazamox e das misturas foi independente da dose de glyphosate utilizado na primeira aplicação para o *H. coronarium*, *E. crassipes* e *P. stratiotes* (Tabela 3).

Em estudo com aplicação sequencial de glyphosate na dose de 2.880 g i.a ha⁻¹ + 0,5% de Aterbane BR e volume de calda de 200 L ha⁻¹, em 21 dias após a primeira aplicação a eficácia para *S. molesta* foi de 76,0% com o surgimento de rebrota e após a aplicação sequencial o glyphosate controlou 100,0% das plantas em 45 dias (Cruz et al., 2017).

Tabela 3. Sinais de intoxicação (%) das macrófitas aquáticas emergentes *Hedychium coronarium* e *Urochloa arrecta* com aplicação complementar de imazamox (/ Imz) 75 dias após tratamento prévio com glyphosate (Gly) e imazamox (Imz), sozinho e em mistura (+), sob uma simulação de várzea alagada em condição de mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	Dias após aplicação do herbicida							
	3	7	15	21	30	45	60	75
<i>Hedychium coronarium</i>								
Imz(800) / Imz(800)	ssa	ssa	-	18,3	56,6	76,6	91,6	99,3
Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)	ssa	ssa	3,3	20,0	46,6	66,6	81,6	91,6
Gly+Imz(1440+400) / Imz(800)	ssa	ssa	1,6	16,6	48,3	68,3	85,0	98,0
Gly+Imz(1440+600) / Imz(800)	ssa	ssa	5,0	20,0	58,3	81,6	91,6	99,3
F	-	-	0,60ns	0,73ns	1,76ns	1,31ns	1,50ns	2,44ns
DMS	-	-	9,33	8,43	19,97	27,98	18,48	10,62
<i>Urochloa arrecta</i>								
Imz(800)/ Imz(800)	ssa	15,0	30,0	38,3	50,0	45,0	37,3	28,3 ab
Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)	ssa	13,3	36,6	45,0	48,3	40,0	30,0	18,3 b
Gly+Imz(1440+400) / Imz(800)	ssa	14,6	38,3	48,3	56,6	51,6	46,6	40,0 ab
Gly+Imz(1440+600) / Imz(800)	ssa	16,6	36,6	50,0	66,6	61,6	58,3	50,0 a
F	-	0,20ns	1,09ns	1,20ns	1,23ns	1,78ns	3,65ns	4,41*
DMS	-	13,89	16,01	21,34	33,96	31,80	29,02	29,71

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey (5%). (ssa) sem sinais aparente e o tratamento foi excluído da análise estatística. F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar.

Na aplicação complementar o *H. coronarium* a partir de 75+60 DAA observou um controle acima de 80%, e em 75+75 DAA foi acima de 90% para todas as doses (primeira aplicação) testadas (Tabela 3). Em estudo na casa de vegetação aplicou glyphosate no *H. coronarium* e a eficácia foi de 90,0 e 91,5% para as doses 3.600 e 4.320 g i. a. ha⁻¹ em 60 DAA (Cerveira Jr et al., 2019), diferindo da eficácia observada que foi acima de 90% em 75+75 DAA, após a aplicação complementar (Tabela 3).

A *U. arrecta* na aplicação complementar apresentou eficácia acima de 48% até 75+30 DAA, após esta avaliação houve o surgimento de rebrota, com uma observação

para a dose (1440+600 / Imz 800 g i.a. ha⁻¹) que reteve os crescimentos excessivos da rebrota, mantendo-a travada e diferindo das demais (Tabela 3).

Para *P. stratiotes* a aplicação complementar foi eficaz até 75+30 DAA, pois a partir deste período observou o surgimento de rebrotas, ambas não apresentaram diferença em relação a dose de glyphosate da primeira aplicação (Tabela 4). O imazamox é considerado eficiente após aplicação em corpos hídricos que coexistem populações mistas de plantas aquáticas flutuantes como *E. crassipes* e *P. stratiotes* (Mudge e Netherland, 2014 a).

Tabela 4. Sinais de intoxicação (%) da macrófita aquática flutuante *Pistia stratiotes* com aplicação complementar de imazamox (/ Imz) 75 dias após tratamento prévio com glyphosate (Gly) e imazamox (Imz), sozinho e em mistura (+), em condição de mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	Dias após aplicação do herbicida							
	3	7	15	21	30	45	60	75
<i>Pistia stratiotes</i>								
Imz(800) / Imz(800)	ssa	45,0	76,6	81,6	85,0	83,3	81,6	78,3
Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)	ssa	42,6	79,3	85,0	86,6	80,0	83,3	81,3
Gly+Imz(1440+400) / Imz(800)	ssa	46,6	81,0	88,3	90,0	91,6	90,0	89,6
Gly+Imz(1440+600) / Imz(800)	ssa	46,6	71,6	84,3	84,6	78,3	75,0	70,0
F	-	0,35ns	0,48ns	0,29n s	0,24ns	0,68n s	0,47n s	0,54n s
DMS	-	14,49	26,66	23,12	22,40	32,68	40,64	50,02

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey (5%). (ssa) sem sinais aparente e o tratamento foi excluído da análise estatística. F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar.

Em geral, a eficácia foi dependente do tratamento com herbicida e variava nas espécies. Além disso, alguns tratamentos atingiram um nível de controle satisfatório (> 80%) aos 75 dias após a aplicação e ocorreu expressivo recrescimento da planta para *P. stratiotes* e *U. arrecta* com o uso de uma única aplicação de herbicida, de forma que foi necessária uma aplicação complementar para obter níveis de controle satisfatórios.

A aplicação complementar de imazamox também foi testada com sucesso para melhorar a eficácia da macrófita emergente *H. coronarium* (Tabela 3) e da macrófita

flutuante *P. stratiotes* (Tabela 4) devido especialmente à planta apresentar rebrota/recrescimento após a primeira aplicação de herbicidas. O tratamento complementar melhorou a eficácia durante 45 dias após a aplicação, ganhou uma maior longevidade no tempo de infestação das macrófitas aquáticas e diminuindo os prejuízos causados ao ambiente.

O acúmulo de massa seca no tratamento sem adição de herbicida para as emergentes *H. coronarium* (38,33 g) e *U. arrecta* (465,00 g) e as flutuantes *E. crassipes* (1020,00 g) e *P. stratiotes* (38,3 g), observou que todas as plantas foram maiores que no tratados com herbicidas e foi observado na comunidade de macrófitas (1558,33 g). A mistura (1440+600 g i.a. ha) apresentou uma menor redução de massa seca (-94,18%) na comunidade de macrófitas (Tabela 5).

O imazamox na dose de 70,1 + 1,0% de óleo vegetal e volume de aplicação de 935 L ha⁻¹ reduziu 30% da massa seca de *E. crassipes* em 56 DAA (Mudge e Netherland, 2014b). Para as flutuantes *P. stratiotes* e *E. crassipes* o imazamox na dose 210,2 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de surfactante não iônico reduziu 61,0% e 76,0% da massa seca das plantas (Mudge e Netherland, 2014a). Esta diferença na redução de biomassa seca é devido a aplicação complementar e a diminuição no tempo da reocupação das macrófitas aquáticas.

Tabela 5. Acúmulo de massa seca (g) e redução de massa seca (%) das macrófitas aquáticas e a comunidade de plantas em 150 dias após aplicação em mesocosmos.

Tratamentos (g i.a. ha ⁻¹)	<i>Hedychium coronarum</i>	<i>Urochloa arrecta</i>	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>	Comunidade macrófita
Sem Herbicida	38,33	465,00 a	1.020,00 a	38,3 a	1.558,33 a
Imz(800) / Imz(800)	9,72 (-74,64)	166,66 ab (-64,16)	0,0 b (-100,0)	1,28 b (- 96,66)	177,67 b (- 88,60)
Gly+Imz(1440+2 00) / Imz(800)	10,21 (- 73,36)	163,26 ab (-64,89)	0,0 b (-100,0)	1,30 b (- 96,60)	174,77 b (- 88,78)
Gly+Imz(1440+4 00) / Imz(800)	17,50 (- 54,34)	103,33 b (- 77,78)	0,0 b (-100,0)	0,07 b (- 99,82)	129,24 b (- 91,70)
Gly+Imz(1440+6 00) / Imz(800)	5,38 (-85,96)	82,91 b (- 82,17)	0,0 b (-100,0)	2,44 b (- 93,63)	90,74 b (- 94,18)
F	3,13ns	4,33*	21,13**	92,74**	50,36**
DMS	34,45	345,92	461,84	8,01	415,77

Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem pelo teste de Tukey (5%). F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar, Imz = imazamox e Gly = Glyphosate.

Em uma aplicação eletrostática na dose de 900 g i.a. ha⁻¹ de imazamox houve uma redução de 62,7% da massa seca *Salvinia molesta* em 60 DAA (Garlich et al., 2020). Os herbicidas imazamox e imazapyr pertencentes ao mecanismo de ação inibidores da acetolactato sintase (ALS), na dose de 560 g i.a. ha⁻¹ + 0,25% surfactante não iônico reduziram 33 e 43% da massa seca de *S. molesta*, 61 e 39% para *E. crassipes* e 87 e 52% para *P. stratiotes* em 70 DAA (Emerine et al., 2010). A redução de massa seca para as macrófitas flutuantes foi maior na aplicação do imazamox isolado quanto na aplicação em mistura com glifosato, pode ser devido a utilização de dose maiores de herbicida (Tabela 5).

4.5 Conclusão

As misturas de glyphosate com imazamox controlam satisfatoriamente as macrófitas aquáticas flutuantes *E. crassipes* e *P. stratiotes* em curto prazo. Por outro lado, o imazamox não controla satisfatoriamente a *P. stratiotes* e *U. arrecta*. A mistura de imazamox e glyphosate melhora significativamente o controle de *H. coronarium*, *P. stratiotes* e *U. arrecta* quando comparado à aplicação de imazamox isolado.

A aplicação complementar do imazamox é importante para o manejo de *E. crassipes*, *H. coronarium*, *P. stratiotes* e *U. arrecta*, porém não impede a rebrota de algumas espécies como a *P. stratiotes* e *U. arrecta*.

4.6 Referências

ALAM (1974) Asociacion Latinoamerica de malezas. Recomendaciones sobre unificacion de los sistemas de evaluacion em ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1:35-38.

Amarante Junior OP, Dos Santos TCR, Brito NM, Ribeiro ML (2002) Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Quim. Nova** 25:589-593.

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Versão 1.1.0.712. 2014

Barmentlo SH, Schrama M, Hunting ER, Heutink RH, van Bodegom PM, Snoo GR, Vijver MG (2018) Assessing combined impacts of agrochemicals: Aquatic macroinvertebrate population responses in outdoor mesocosms. **Science of the Total Environment** 631:341-347.

Brundu G, Stinca A, Angius L, Bonanomi G, Celesti-Grapo L, D'auria G, Spigno P (2012) *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy). **EPPO Bulletin** 42(3):568-579.

Carbonari CA, Martins D, Terra MA (2003) Control of *Brachiaria subquadrifida* and *Brachiaria mutica* by different herbicides applied post-emergence. **Planta Daninha** 21:79-84.

Campos CF (2012) Influência da chuva após aplicação de imazamox sobre o controle de plantas daninhas aquáticas. **Biosci. J.** 28:413-19.

Cerveira JR WR, Pereira PC, Cruz C (2020) Controle químico da planta aquática ancorada erva do pântano (*Enhydra sessilis*). **Ciência e Cultura** 16:e201608.

Cerveira JR WR, Silva AF, Cruz C, Pitelli RA, Martins D, (2019) Herbicides for rooted aquatic macrophytes. **Planta Daninha**, 37:e019175938.

Cerveira JR WR, Silva AF, Cervoni JHC, Cruz C, Pitelli RA (2020) The addition of adjuvants on glyphosate enhances the control of aquatic plant *Myriophyllum aquaticum* (Vell.). **Planta Daninha** 38.

CONAMA (2015) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 465. **Dispõe sobre critérios para 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 da outras providências, 5p, 2015. Publicado no DOU no135, seção 1, p. 70-71.

Cruz C, Silva AF, Shiogiri NS, Garlich N, Pitelli R.A (2015) Imazapyr herbicide efficacy on floating macrophytes control and ecotoxicology for non-target organisms. **Planta Daninha** 33:103-108 a.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47 b.

Cruz C, Cervoni JHC, Silva AF, Garlich N, Pitelli RA (2017) Aplicação sequencial de glyphosate em plantas aquáticas de difícil controle em condição de microcosmos. **Ciência e Cultura** 13:59-63.

Emerine SE, Richardson RJ, True SL, West AM, Roten RL (2010) Greenhouse Response of Six Aquatic Invasive Weeds to Imazamox. **J. Aquat. Plant Manage** 48:105-111.

Enloe SF, Quincy KH, Netherland MD, Laue DK (2020) Evaluation of fluazifop-P-butyl for para grass and torpedograss control in aquatic and wetland sites. **Journal of Aquatic Plant Management** 58:36-40.

Garlich N, Guarnieri CCO, Freitas RLG, Cervoni JHC, Cruz C, Ferreira MC (2019) Efficacy of Imazamox with Centrifugal Energy Spray Nozzle on *Eichhornia crassipes* and Economic Analysis of Control Viability. **Planta Daninha** 37:e019194898.

Garlich N, Garcia GL, de Oliveira AC, Dos Santos KP, Pitelli RA, Ferreira MDC, da Cruz C (2021) Electrostatic spraying of imazamox to control the floating aquatic plant *Salvinia molesta* and its effects on environmental indicators of water quality. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 56(3):251-258.

Gettys LA, Haller WT, Petty DG (2014) Biology and control of aquatic plants. A best management practices handbook: Third edition. **Aquatic ecosystem restoration foundation**, Mariett GA, p. 238.

Gonçalves AH, Silva JB, Lunkes JA (2001) Controle de tiririca (*Cyperus rotundus*) e efeito residual sobre a cultura do feijão do herbicida imazapyr. **Planta Daninha** 19:435-443.

Glonski LM, Mudge CR (2013) Effect of subsurface and foliar applications of bispyribac-sodium on water hyacinth, water lettuce, and giant salvinia. **J. Aquat. Plant Manage** 51:62–65.

Hofstra DE, Champion PD, Dugdale TM (2006) Herbicide trials for the control of parrotsfeather. **J. Aquati. Plant Management** 44:13-18.

Holm LG, Plucknett DL, Pancho JV, Herberger JP (1997) The World's Worst Weed, distribution and biology. Honolulu: The **Univ. Press of Hawaii** p. 609.

Hussner A, Stiers I, Verhofstad MJJM, Bakker ES, Grutters BMC, Haury J, Valkenburg JLCHV, Brundu G, Newman J, Clayton JS, Anderson LWJ, Hofstra D (2017) Management and control methods of invasive alien freshwater aquatic plants: a review. **Aquatic Botany** 136:112-137.

Kissmann KG (2000) **Uso de herbicidas no contexto do Mercosul**. In: congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas. Foz do Iguaçu: SBCPD, p. 92-116.

Lu J, Bunn SE, Burford MA (2018) Nutrient release and uptake by littoral macrophytes during waterlevel fluctuations. **The Science of the Total Environment** 623:29-40.

Mudge CR (2013) Interactions of herbicides, surfactants, and the giant salvinia weevil (*Cyrtobagous salviniae*) for control of giant salvinia (*Salvinia molesta*). **J. Aquat. Plant Manage** 51:77-87.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of giant bulrush, water hyacinth, and water lettuce to foliar herbicide applications. **Journal of Aquatic Plant Management** 52:75-80. B.

Mudge CR, Netherland MD (2014) Response of invasive floating plants and nontarget emergent plants to foliar applications of imazamox and penoxsulam. **Journal of Aquatic Plant Management** 52:1-7. A.

Negrissoli E, Tofoli GR, Velini ED, Martins D, Cavenaghi AL (2003) Chemical control of *Myriophyllum aquaticum*. **Planta Daninha** 21:89-92.

Nelson KA, Renner KA (1998) Weed control in wide- and narrow-row soybean (*Glycine max*) with imazamox, imazethapyr, and CGA-277476 plus quizalofop. **Weed Technol** 12:137-144.

Sandrini JZ, Rola RC, Lopes FM, Buffon HF, Freitas MM, Martins CDMG, Da Rosa CE (2013) Effects of glyphosate on cholinesterase activity of the mussel *Perna perna* and the fish *Danio rerio* and *Jenynsia multidentata*: In vitro studies. **Aquatic Toxicology** 130:171-173.

SERA (Syracuse Environmental Research Associates, Inc.). **Imazamox Human Health and Ecological Risk Assessment**. USDA Forest Service Contract: AG-3187-C-06-0010, Final Report, 2010. Acessado em: http://www.fs.fed.us/foresthealth/pesticide/pdfs/052-24-02a_Imazamox.pdf

Sartain BT, Mudge CR (2018) Evaluation of 12 foliar applied non-aquatic herbicides for efficacy against giant salvinia (*Salvinia molesta*) **J. Aquat. Plant Manage** 56:107-112.

SBCPD (1995) Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: **Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**. 42p.

Silva AF, Cerveira Jr WR, Ferreira MC, Cruz C, (2018) Floating Macrophyte Control with Glyphosate According to Adjuvants and Spray Nozzles. **Planta Daninha** 36.

Stone CP, Smith CW, Tunison JT (1992) Alien plant invasions in native ecosystems of Hawai'i: management and research. **University of Hawai'i**.

Tan S, Evans RR, Dahmer ML, Singh BK, Shaner DL (2005) Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. **Pest management science** 61:246-257.

Wersal RM, Madsen JD (2010) Combination of penoxsulam and diquat as foliar applications for control of waterhyacinth and common salvinia: Evidence of herbicide antagonism. **Journal of Aquatic Plant Management** 48(1):21-25.

CAPÍTULO 5 – Indicadores de qualidade de água após aplicação de glyphosate e imazamox para controle de macrófitas em mesocosmos

RESUMO - No Brasil o controle de plantas aquáticas tornou-se ferramenta com respaldo legal em 2015, que dispõe sobre o uso de produtos ou processos para recuperação de ambientes hídricos. O objetivo deste estudo foi avaliar os indicadores ambientais após aplicação dos herbicidas glyphosate e imazamox isolados e em mistura e a aplicação sequencial de imazamox para o controle de plantas aquáticas em condição de mesocosmo, simulando uma área de várzea alagada. As variáveis de DBO_5 e DQO mesmo com a decomposição das plantas após intervenção química, apresentaram variações pontuais de acordo com período de eficácia de controle das plantas aquáticas em comparação com a testemunha. As análises de qualidade de água, clorofila *a* da água e plantas, fósforo total e nitrogênio total na água não apresentaram alterações significativas. Conclui-se que a aplicação de herbicida isolado e em mistura com posterior reaplicação não alterou as análises ambientais, tornando uma estratégia importante para controle de macrófitas aquáticas.

Palavras-chave: várzea alagada, herbicidas, monitoramento ambiental, plantas aquáticas

5.1 Introdução

A simulação de efeitos ambientais em condição de mesocosmos e microcosmo é uma ferramenta útil para avaliar potenciais riscos da exposição dos organismos não alvos após aplicação de herbicidas e estimar os efeitos nas características físico-químicas da água (OECD, 2004, Garlich et al. 2020). Os herbicidas aplicados nos corpos hídricos podem sofrer fotodegradação, degradação microbiana, adsorção por matéria orgânica particulada ou argilas em suspensão, diluição e meia-vida de algumas horas e/ou dias (Souza et al., 2017), portanto o monitoramento dos possíveis efeitos dos herbicidas é muito importante para o conhecimento de sua ação direta ou indireta na qualidade de água.

As análises dos nutrientes fósforo e nitrogênio total vem sendo realizada em estudos com macrófitas aquáticas para avaliação da dinâmica ambiental (Henares et al., 2014). Outras análises como variáveis de qualidade de água, clorofila, análise de demanda bioquímica (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), durante e após a aplicação de herbicidas é de fundamental importância para o conhecimento dos possíveis efeitos da decomposição da matéria vegetal morta da aplicação (Li et al., 2018; Vigiak et al., 2019).

No Brasil o controle de plantas aquáticas tornou-se ferramenta com respaldo legal por meio da Resolução nº 467, que dispõe sobre o uso de produtos ou processos para recuperação de ambientes hídricos (Conama, 2015). Estima-se que cerca de 6,0% do território nacional seja coberto por áreas alagáveis, o que, somado às características favoráveis das regiões tropicais, indica o aparecimento de várias espécies de macrófitas tanto em ambientes aquáticos naturais como artificiais, sendo as espécies *Eichhornia crassipes*, *Egeria* spp., *Eleocharis* sp., *Ludwigia* spp., *Oxycaryum cubense*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia* spp. e *Typha domingensis*, classificadas como as macrófitas com maior grau de crescimento (Bianchini Jr. et al., 2010), além de espécies exóticas invasoras como a braquiária d'água (*Urochloa arrecta*) e o lírio do brejo (*Hedychium coronarium*).

A macrófita emergente *Urochloa arrecta* é uma monocotiledônea pertencente à família Poaceae, planta perene e estolonífera que se reproduz por meio vegetativo, sendo originária da África (Kissmann, 2000, Fares et al., 2020). Esta planta foi introduzida no Brasil como forrageira, no entanto acabou tornando-se uma invasora

muito agressiva em ambientes aquáticos causando redução na biodiversidade. O lírio do brejo (*Hedychium coronarium*) é uma monocotiledônea da família Zingiberaceae, rizomatosa de hábito herbáceo perene, com reprodução por sementes e rizomas (Pinheiro et al., 2021).

A macrófita flutuante *Pistia stratiotes* (alface d'água) pertencente à família Araceae, tem alta capacidade de multiplicação vegetativa e habilidade para regenerar-se a partir de pequenas porções da planta (Ekanayake et al., 2021). A *Eichhornia crassipes* (aguapé) pertencente à família Pontederiaceae, é uma planta nativa tropical da América (Ekanayake et al., 2021).

O uso de herbicidas para o controle de plantas aquáticas e algas é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo, uma vez que, afetam diretamente os ambientes aquáticos (Cruz et al., 2015; Garlich et al., 2016). As análises das variáveis de qualidade de água e determinação de nutrientes (fósforo e nitrogênio) serve de embasamento para a tomada de decisão de utilização de herbicidas em programas de manejo de plantas aquáticas, procedimentos de aplicação e monitoramento dos possíveis efeitos ambientais após pulverização química, sendo de fundamental importância para entender a dinâmica ambiental destas moléculas nos diversos compartimentos aquáticos.

5.2 Objetivo

O objetivo deste estudo foi monitorar a qualidade de água avaliando pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20^{\circ}\text{C}}$), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total, nitrogênio total e a concentração de clorofila *a* e determinar a relação planta-água após aplicação dos herbicidas e a dinâmica ambiental dos possíveis efeitos da decomposição das plantas na qualidade de água.

5.3 Material e Métodos

O cultivo das plantas aquáticas foi realizado em caixas plásticas com capacidade de 250 litros, preenchidas com substrato formado por areia grossa,

esterco bovino e solo argiloso (1:1:1 v v⁻¹) e com fluxo contínuo de água. Foram selecionadas plantas saudáveis (sem sinais de lesões ou ataque por pragas) para ser transplantadas aos mesocosmos.

Para o desenvolvimento dos experimentos foram utilizados 15 mesocosmos constituídos por tanques compostos por bolsão confeccionado em vinilona (0,80 m de altura x 1,90 m de diâmetro) para 1860 L e com entrada e saída de água pela superfície do sistema com fluxo de 250 ml min, sendo adicionado 125,0 cm³ de solo e 62,5 cm³ de esterco orgânico em metade da superfície de fundo do mesocosmo estabelecendo uma camada de 10 a 12 cm de altura, na outra metade uma lâmina de água de 12 cm, para estabelecer uma condição de simulação de instalação da área de várzea.

Em cada mesocosmo foram colocadas 5 plantas de aguapé (*E. crassipes*) e 5 de alface d'água (*P. stratiotes*), 9 fragmentos apicais de braquiária d'água (*U. arrecta*) e 3 lírio-do-brejo (*H. coronarium*). A colonização foi realizada por 60 dias nos mesocosmos para ocupação de 80 a 90% da área dos mesocosmos.

Após este período foi realizada a aplicação dos herbicidas, sendo testados glyphosate (480 g L⁻¹ de sal de isopropilamina – Rodeo, Monsanto do Brasil LTDA e imazamox (700 g i.a. Kg - Raptor, Basf S/A) isolados e suas misturas. Os tratamentos avaliados foram: imazamox na dose foi 800 g i.a. ha⁻¹; glyphosate + imazamox a 1.440 g i.a. ha⁻¹ + 200 g i.a. ha⁻¹ (Mistura 1); glyphosate + imazamox a 1440 g i.a. ha⁻¹ + 400 g i.a. ha⁻¹ (Mistura 2); glyphosate + imazamox a 1440 g i.a. ha⁻¹ + 600 g i.a. ha⁻¹ (Mistura 3) e controle (testemunha sem aplicação). O experimento foi constituído por 5 tratamentos dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 repetições.

Em 75 dias após aplicação (DAA) foi realizada a aplicação sequencial com o imazamox na dose de 800 g i.a. ha⁻¹ em todas as unidades experimentais (tratamentos) descritos acima.

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal de precisão a pressão constante de CO₂ de 1,72 bar e consumo de calda de 200 L ha⁻¹ com 4 pontas tipo AD 110.02 da Magnojet® e as condições ambientais no momento das aplicações foram: 27,2 °C de temperatura, 41,9% de umidade relativa e vento de 0,0 a 0,8 km h⁻¹.

¹. Na aplicação sequencial as condições ambientais eram 25,2 °C de temperatura, 58,9% de umidade relativa e vento de 0,4 a 1,5 km h⁻¹.

As análises de qualidade da água (Temperatura, Oxigênio, Condutividade e pH) foram realizadas com sonda multiparâmetro YSI aos 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150 dias após a primeira aplicação (DAA).

Para avaliação da clorofila *a* e feofitina *a* foram coletadas amostras em 0, 30, 75, 105 e 150 DAA das 4 espécies de plantas e de água (CETESB, 2014).

Para avaliação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5;20°C} mg L⁻¹) foi realizada amostragem em 0, 30, 75, 105 e 150 dias após aplicação, seguindo a metodologia da (Caldwell e Langelier, 1948). Para avaliações de demanda química de oxigênio (DQO) foi realizado amostragem em 0, 30, 75, 105 e 150 dias após aplicação acordo com a (Adams, 1989).

Para análise de fósforo total na água foram amostras experimentais em 0, 30, 75, 05, 150 DAA de cada tratamento. (Golterman et al., 1978) e para a determinação dos compostos nitrogenados na água, utilizou-se o método descrito por (Mackereth et al., (1978) em 0, 30, 75, 105, 150 DAA.

Os resultados de clorofila *a* para água e plantas; DBO, DQO, nitrogênio e fosforo da água foram transformados em raiz quadrada ($\sqrt{x+10}$) para obtenção da normalidade dos dados, os resultados nessas tabelas representam a média real das análises, porém com a estatística dos valores transformado. Após resultados de qualidade de água (condutividade, Oxigênio, Temperatura e pH), biomassa fresca e seca foram submetidos a análise variância pelo teste F (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade no programa estatístico AgroEstat-Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos (Barbosa e Maldonado, 2014).

5.4 Resultados e Discussão

5.4.1 Indicadores de qualidade de água

Na avaliação dos efeitos da aplicação de herbicidas nos indicadores de qualidade de água, para a demanda bioquímica de oxigênio ($\text{DBO}_{5,20^\circ\text{C}} \text{ mg L}^{-1}$) não ocorreu diferença significativa (Figura 1).

A ausência de diferença entre os tratamentos indica que o ciclo de degradação da matéria orgânica por organismos decompositores aeróbicos, em condições de simulação de várzea, causado pelo efeito herbicida sobre as macrófitas não causa impacto na disponibilidade de oxigênio. Com um valor de DBO_5 acima de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ é caracterizado sobrevivência da comunidade biológica nos sistemas aquáticos (Melo Júnior et al., 2019). Esses valores estimam a extensão da oxidação biológica no ambiente aquático e são indicadores de poluição em água doce (Li et al., 2018) (Figura 01).

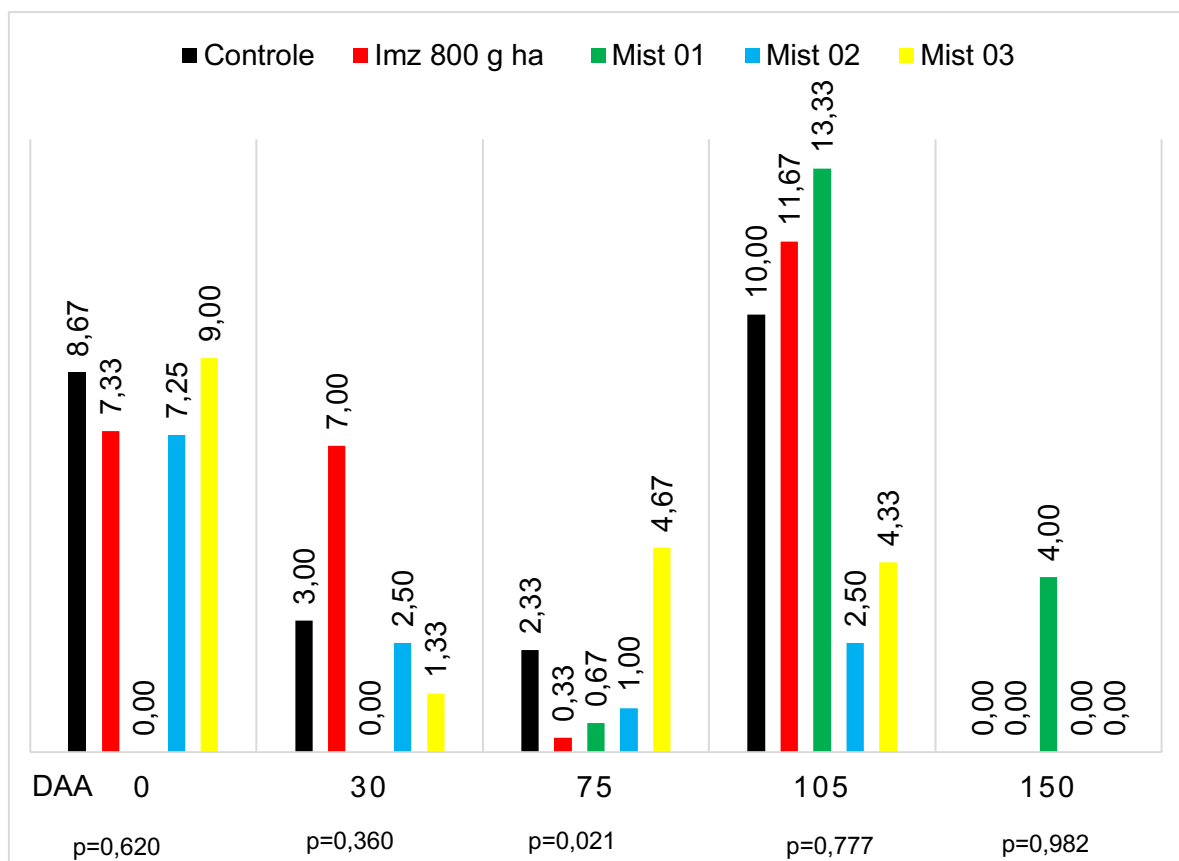


Figura 01. Médias dos valores de DBO_5 (mg L^{-1}), Teste de Tukey ($p > 0,05$) não difere estatisticamente entre si.

A ausência de efeito no consumo de oxigênio para a degradação da matéria orgânica da decomposição das macrófitas e, ainda o aumento do aporte total de matéria possível da decomposição é observada também pela ausência de diferença

significativa entre os tratamentos e a testemunha na avaliação de demanda química de oxigênio (DQO) na água dos mesocosmos durante os períodos de avaliação (Figura 2).

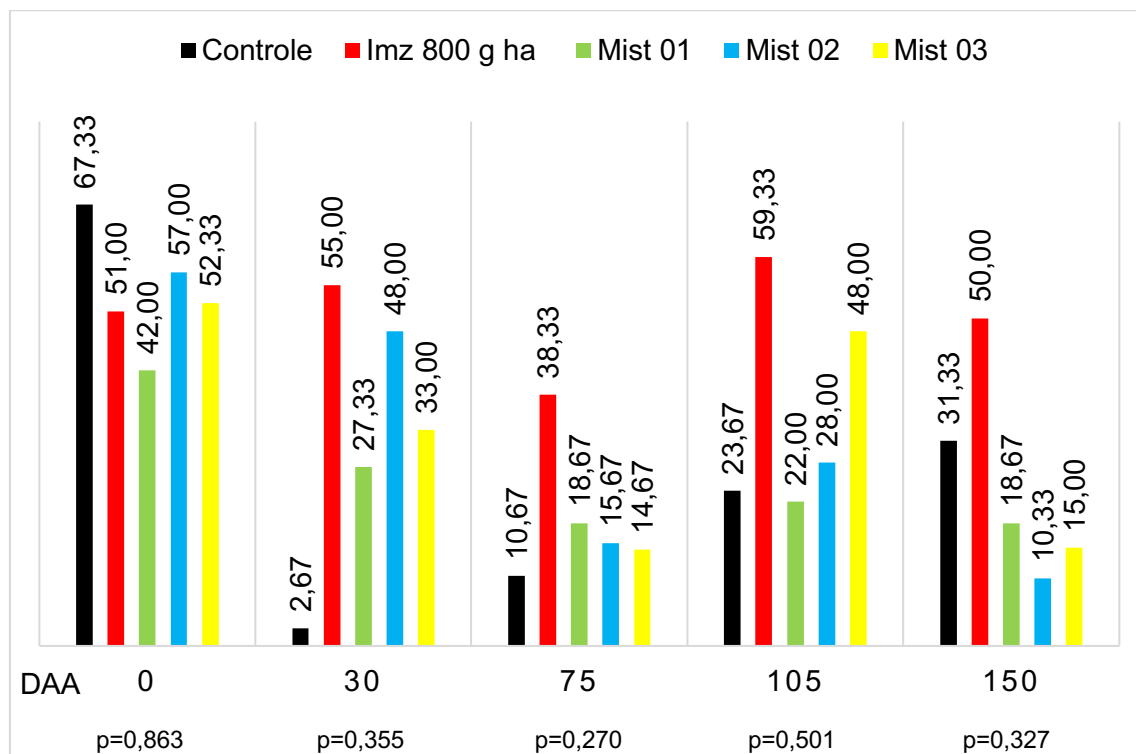


Figura 02. Médias dos valores de DQO (mg L^{-1}), Teste de Tukey ($p > 0,05$) não difere estatisticamente entre si.

A demanda química é um indicativo de todo o potencial de material disponível no ambiente com possibilidade de oxidação. A avaliação simultânea dos parâmetros de DQO e DBO₅ é importante para mensurar a degradabilidade das substâncias orgânicas e inorgânicas na água (Hu e Grasso, 2005; Dhanjai et al., 2018).

Apesar de alguns valores altos de ($\text{DBO}_{5;20^{\circ}\text{C}} \text{ mg L}^{-1}$) por se tratar de uma várzea, o consumo de oxigênio na degradação aeróbica inicial das macrófitas foi baixo. Este ponto também pode ser confirmado pelos altos valores de oxigênio dissolvido na água (Tabela 1), que apresentaram valores sempre acima de $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ (valor ótimo para a conservação da biota aquática).

Tabela 1. Valores de Oxigênio dissolvido mg L⁻¹ após aplicação dos herbicidas.

Tratamentos / DAA	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Controle	6,40	5,05 b	6,44 b	4,28	3,81	4,42	3,79 b	2,57 b	4,08	4,14	2,77
Imz(800) / Imz(800)	6,03	7,30 ab	8,60 ab	4,77	4,72	5,49	6,45 ab	4,75 ab	4,33	6,37	4,82
Gly+Imz(144 0+200) / Imz(800)	5,29	7,38 ab	9,07 a	3,91	4,10	5,86	6,86 ab	6,14 ab	5,43	6,11	4,33
Gly+Imz(144 0+400) / Imz(800)	5,81	8,64 a	8,72 a	5,43	5,05	6,02	7,04 ab	4,93 ab	5,22	5,93	4,55
Gly+Imz(144 0+600) / Imz(800)	5,78	8,31 a	9,03 a	4,48	4,93	5,95	9,48 a	6,68 a	4,04	6,42	5,22
F trat.	1,77n s	4,55*	5,40*	1,01n s	0,09n s	1,23n s	6,26**	3,87*	0,38n s	1,30ns	1,52ns
DMS	1,41	3,06	2,20	2,65	8,45	2,78	3,77	3,75	4,95	3,86	3,53

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar. Imz = imazamox, Gly = Glyphosato.

Em alguns períodos de avaliação ocorreram diferenças significativas entre os valores de oxigênio dissolvido (15, 30, 90, 105 dias após aplicação), porém com valores superiores nos mesocosmos com a aplicação de herbicidas em relação a testemunha. A autodepuração do sistema e a diluição da matéria orgânica na água podem ter sido responsáveis pelas altas taxas de oxigênio dissolvido durante todo o período experimental (Chatanga et al., 2019).

O controle das macrófitas enraizadas e flutuantes pode ter contribuído para o aumento da concentração de oxigênio dissolvido na água, com interrupção das atividades de consumo de oxigênio e também possível alteração da microbiota associada as macrófitas que também consomem oxigênio, como o observado na testemunha durante todo o período experimental.

Outro fator importante no ciclo da decomposição é a alteração nos processos de condutividade elétrica da água. Neste estudo a condutividade elétrica não apresentou alterações significativas entre os tratamentos com herbicida e a testemunha (Tabela 2). Aos valores globais de condutividade elétrica permaneceram em torno de 130,0 a 210,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Tabela 2). A condutividade elétrica corresponde

à medida da capacidade de íons presente na água para conduzir eletricidade e crescer proporcionalmente ao aumento da concentração de sais (RIBEIRO et al. 2005). O aumento nas cargas elétricas dissolvidas na água indica a decomposição de plantas ou matéria orgânica (Tavares, 2013; Buzelli e Cunha-Santino, 2013).

Tabela 2. Valores de Condutividade $\mu\text{S cm}^{-1}$ após aplicação dos herbicidas

Tratamentos / DAA	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Controle	175,73	162,20	151,06	204,33	181,83	152,96	201,30	180,86	163,03	134,26	135,93
Imz(800) / Imz(800)	177,60	180,10	192,50	207,00	172,06	161,06	197,66	174,13	139,26	134,30	125,26
Gly+Imz(1440 +200) / Imz(800)	174,76	181,16	171,33	179,96	187,16	121,03	181,13	162,50	140,26	136,10	149,70
Gly+Imz(1440 +400) / Imz(800)	179,20	176,76	153,03	195,86	184,43	160,40	193,23	173,86	136,43	134,70	127,66
Gly+Imz(1440 +600) / Imz(800)	178,83	180,66	154,30	151,06	155,76	121,80	212,96	186,10	134,90	139,73	130,70
F trat.	0,33ns	3,16ns	1,61ns	2,71ns	0,47ns	2,95ns	1,25ns	1,79ns	1,14ns	0,39ns	1,61ns
DMS	15,67	20,96	64,71	65,05	86,49	55,14	48,41	30,87	50,23	17,14	35,65

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar. Imz = imazamox, Gly = Glyphosato.

A baixa variação da condutividade elétrica, indica que os processos de decomposição das macrófitas após o controle de herbicida (Imz (800) – 44,55%; Gly+Imz (1440+200) – 55,80%; Gly+Imz (1440+400) – 62,05%; Gly+Imz (1440+600) – 71,40%, média global das macrófitas aos 75 DAA) não aumentou a capacidade de condução elétrica na água e, portanto, não irá interferir nos processos de trocas gasosas de outros organismos presentes no ambiente, como peixe, camarão, caramujo dentre outros.

Os valores de pH não apresentaram diferença significativa entre os herbicidas aplicados e a testemunha, com valores médios entre 7,10 e 9,90 Estes valores presentes no estudo não interferem na vida aquática e estão dentro dos padrões de qualidade de água para o OMS, que são valores entre 6,5 à 9,0 (Gupta et al, 2017) e segundo a resolução 357 do CONAMA (2015), o pH ideal para classificação de corpos

de água então entre 6,0 e 9,5. Os valores da temperatura da água não apresentaram diferença significativa entre os herbicidas aplicados e a testemunha, com valores médios entre 25,9 e 33,5°C.

Na análise de nitrogênio total na água (NT mg L⁻¹), ocorreram variações significativas na concentração deste nutriente entre os tratamentos na avaliação inicial, com os maiores valores na testemunha (0,280 mg L⁻¹) e no tratamento Gly + Imz (1440 + 600 g i.a ha⁻¹) (Figura 3).

Na avaliação de 30, 75 e 105 dias após aplicação não ocorreram diferenças significativa entre os tratamentos e a testemunha, contudo em 105 DAA ocorreu aumento de nitrogênio na água (Figura 3). Este aumento pode estar relacionado a senescência de plantas na testemunha e efeito da degradação das macrófitas após o controle de herbicidas. Neste ponto cabe destacar que foi realizada uma aplicação sequencial em 75 dias de experimento.

O efeito desta aplicação (Imz (800) / Imz (800) – 76,47%; Gly+Imz (1440+200) / Imz (800) – 72,80%; Gly+Imz (1440+400) / Imz (800) – 81,90%; Gly+Imz (1440+600) / Imz (800) – 79,82%, média global das macrófitas aos 75 dias após reaplicação) pode ser observado na avaliação de 150 DAA (Figura 3). Neste ocorreu diminuição significativa do nitrogênio total herbicidas em relação a testemunha, o que indica que após os ciclos de degradação das macrófitas os níveis de NT diminuem na água em relação aos ambientes onde prevalece a degradação natural.

As macrófitas podem assimilar nitrogênio e fósforo da coluna d'água por meio de suas folhas e dos sedimentos do rio por meio de suas raízes (Preiner et al. 2020). Vários estudos abordaram a importância relativa dessas duas vias de absorção de nutrientes (Chambers et al., 1989; Madsen e Cedergreen, 2002).

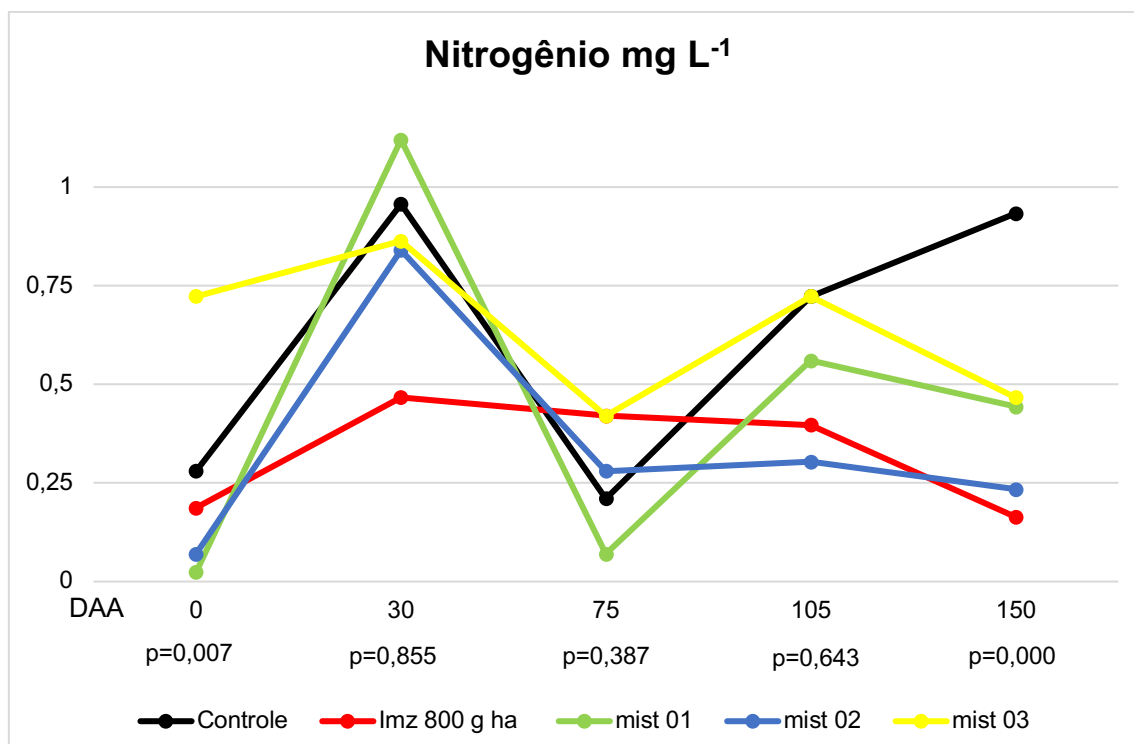


Figura 03. Médias dos valores de Nitrogênio total (mg L^{-1}), Teste de Tukey ($p > 0,05$) não difere estatisticamente entre si.

Em condições de várzea, ou ambientes alagáveis, mesmo com o aumento transitório de nitrogênio total na água em algum momento de degradação das macrófitas, não ocorreu o favorecimento de algas, pois não ocorreu diferença significativa de clorofila *a* (Tabela 3). Quando uma elevada concentração do nutriente é encontrada na água, este favorece o desenvolvimento de algas com o aumento da concentração de clorofila *a* na água (Buzelli e Cunha-Santino, 2013) e (Périllon e Hilt 2019).

Tabela 3. Médias dos valores de Clorofila *a* água após aplicação dos herbicidas.

Doses / Dias	0	30	75	105	150
Controle	4,45	4,45	15,59	20,04	0,00
Imz(800) / Imz(800)	2,22	8,91	0,00	8,91	11,13
Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)	8,91	0,00	6,68	0,00	0,00
Gly+Imz(1440+400) / Imz(800)	31,18	6,82	0,00	2,22	6,68
Gly+Imz(1440+600) / Imz(800)	13,40	6,82	2,22	0,00	0,00
F trat.	0,81ns	0,51ns	2,70ns	1,73ns	2,73ns
DMS	4,55	2,54	2,10	3,06	1,75

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar. Imz = imazamox, Gly = Glyphosate.

Para o fósforo total (FT $\mu\text{g L}^{-1}$) não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos nas avaliações 0 e 30 dias após aplicação (Figura 4). O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento para plantas aquáticas e algas (Vidal e Neto, 2014) e pode ser proveniente de fontes naturais como decomposição de organismos, ciclos de plantas e fontes artificiais como esgotos e fertilizantes agrícolas (Lyra et al., 2020) ou pela decomposição das macrófitas aquáticas.

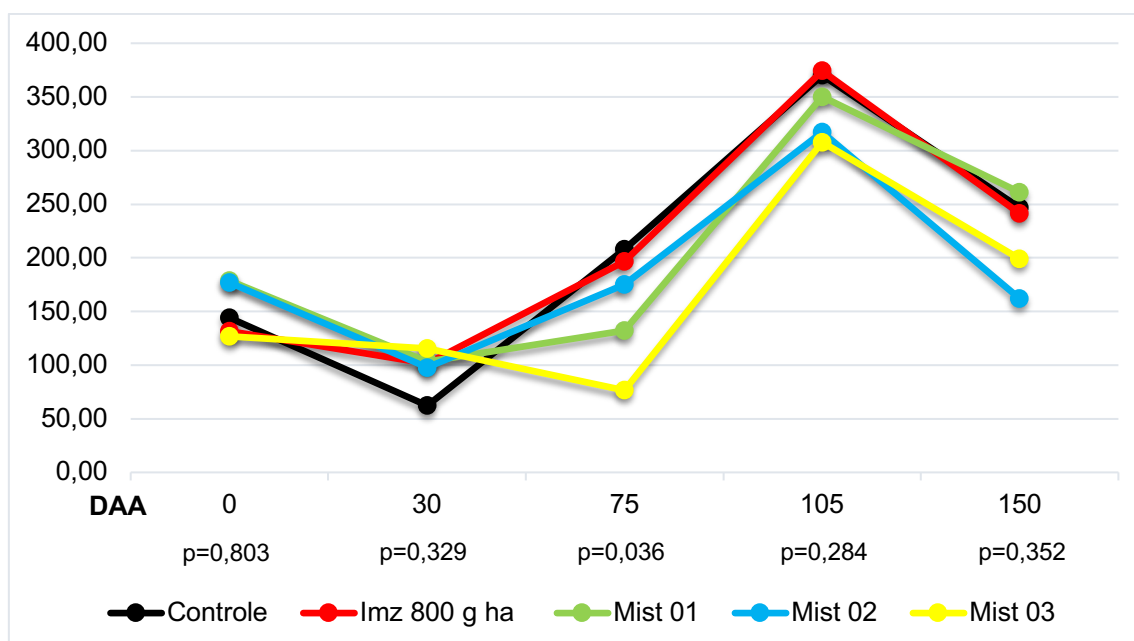


Figura 04. Médias dos valores de Fósforo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$), Teste de Tukey ($p > 0,05$) não difere estatisticamente entre si.

A absorção e exportação de nutrientes estão intimamente relacionadas à atividade metabólica de um ecossistema por meio de mecanismos diretos e indiretos (Heffernan e Cohen, 2010).

5.4.2. Clorofila *a* nas plantas

A clorofila *a* avalia a eficácia de herbicida através da mensuração dos teores de pigmentos nas plantas que estão nos tecidos vegetais e cloroplastos das folhas. A redução destes pigmentos demonstra diminuição da atividade fotossintética das plantas causada pelo efeito herbicida. O imazamox isolado ou em mistura com o glyphosate reduziu significativamente o teor de clorofila *a* para *P. stratiotes* em 30 DAA, em 75 DAA foi observado um aumento na concentração de clorofila *a* que pode ser referente a rebrota das macrófitas e o desenvolvimento e fotossíntese da planta se restabelecendo (Tabela 4).

Tabela 4. Médias dos valores de Clorofila *a* ($\mu\text{g g}^{-1}$) das Plantas flutuantes após aplicação dos herbicidas.

Dias Doses	00		30		75		105		150	
	Ps	Ec	Ps	Ec	Ps	Ec	Ps	Ec	Ps	Ec
Controle	17,82	33,41	11,13	20,04	17,82	26,73	6,68	28,95	20,04 a	8,91
Imz(800) / Imz(800)	13,36	49,00	13,36	0,00	26,73	-	17,82	-	13,36 ab	-
Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)	6,68	35,64	8,90	6,68	271,75	-	8,91	-	8,91 ab	-
Gly+Imz(1440+400) / Imz(800)	24,50	42,32	2,22	0,0	196,10	-	13,36	-	0,0 b	-
Gly+Imz(1440+600) / Imz(800)	11,13	31,18	11,13	6,68	31,18	-	6,68	-	2,22 b	-
F trat.	0,99ns	0,43ns	0,33ns	3,33ns	2,11ns	-	0,63ns	-	6,66**	-
DMS	2,99	3,51	3,67	2,39	14,67	-	2,82	-	1,70	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar. Imz = imazamox, Gly = Glyphosate.

Em 30 dias após aplicação ocorreu redução no teor de clorofila *a* da *E. crassipes* em relação ao controle e em relação ao momento antes da aplicação dos herbicidas, nas avaliações de 75, 105 e 150 DAA não obteve planta devido ao controle de 100%. De acordo com Garlich et al. (2020) as épocas de avaliação não ocorreram diferença significativa nos teores de clorofila *a* após aplicação eletrostática de imazamox para controle de *Salvinia molesta*.

A concentração de clorofila *a* para as macrófitas aquáticas emergentes na avaliação de 30 DAA apresentou uma queda para todas as doses em relação ao controle. Em 75 DAA, a *U. arrecta* e o *H. coronarium* apresentaram um aumento no teor de clorofila *a* em relação a avaliação anterior, este aumento é devido o surgimento de rebrota e folhas novas com suas atividades fotossintéticas mais ativas (Tabela 5). Em estudo similar com aplicação de imazapyr nas doses de 500 e 750 g i.a. ha⁻¹ + 0,5% de Aterbane BR ocorreu uma redução de 86% (0,66 mg dm⁻²) e 77% (1,09 mg dm⁻²) da clorofila total das plantas emergentes de *Typha subulata* aos 31 DAA (Silva e Martins, 2004).

Tabela 5. Médias dos valores de Clorofila *a* (µg g⁻¹) de Plantas emergentes após aplicação dos herbicidas.

Dias	00		30		75		105		150	
Doses	Ua	Hc	Ua	Hc	Ua	Hc	Ua	Hc	Ua	Hc
Controle	77,96	62,37	66,82	22,27	71,28	44,55	44,50	13,36	64,59	26,73
Imz(800) / Imz(800)	77,96	20,04	66,82	11,13	57,91	26,73	44,54	8,91	26,73	-
Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)	60,14	33,41	28,95	6,68	73,50	24,50	11,13	6,68	24,50	0,0
Gly+Imz(1440+400) / Imz(800)	37,86	35,64	20,04	20,04	80,19	17,82	22,27	6,68	82,41	-
Gly+Imz(1440+600) / Imz(800)	44,54	33,41	37,86	4,45	28,95	22,27	35,64	11,13	8,91	-
F trat.	0,95ns	1,16ns	1,04ns	1,05ns	2,73ns	0,47ns	1,24ns	0,25ns	1,21ns	-
DMS	4,96	4,85	6,89	3,54	4,00	4,23	4,73	2,64	7,77	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não difere estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5%; F é o valor F da ANOVA (teste F). ns significa uma não significância do teste F, * e ** significa que o teste F é significativo a 5% e 1%, respectivamente. (/) = aplicação complementar. Imz = imazamox, Gly = Glyphosate.

Em 150 DAA não foi encontrado *H. coronarium* para avaliações, devido ao controle de 100%, com exceção para (Gly+Imz(1440+200) / Imz(800)). Os herbicidas no ambiente aquático sofrem fotodegradação, degradação microbiana, adsorção por matéria orgânica particulada, argilas em suspensão, diluição e meia-vida de algumas

horas e/ou dias (Souza et al., 2017) e o monitoramento do comportamento destes produtos nos corpos hídricos é importante para o conhecimento de sua ação e efeito direto ou indireto para os organismos não alvo e qualidade de água (Souza et al., 2020).

5.5 Conclusão

A mistura de herbicidas para o controle de macrófitas não diferiu da aplicação isolada de cada ingrediente ativo. Para DBO, DQO, Oxigenio, nitrogênio total e fosforo total observou alterações com maior interferência da sazonalidade, tanto na primeira aplicação quanto na aplicação complementar.

Para a clorofila *a* nas macrófitas flutuantes e submersas foi possível verificar alterações transitórias decorrente da aplicação do herbicida e posterior decomposição das macrófitas.

5.6 Referências

Abba SI, Elkiran G (2017). Effluent prediction of chemical oxygen demand from the wastewater treatment plant using artificial neural network application. **Procedia computer science** 120:156-163.

Adams VD (1989) Water and Wastewater Examination Manual. Methods for the determination of organics, Chemical oxygen demand (COD). **Manual method dichromate reflux** 168p.180.

Barbosa JC, Maldonado JRW (2014) **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos**. Versão 1.1.0.712. 2014.

Bianchini JR,I. Almeida, AA, Fushita, AT, Cunha Santino, MB, Maia, AT (2010) **Monitoramento das Macrófitas Aquáticas do Reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Estado de Tocantins, Brasil)**. Augmdomus n. 2.

Brundu, G, Stinca, A, Angius, L, Bonanomi, G, Celesti-Grapow, L, D'auria, G, Spigno, P (2012) *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy). **EPPO Bulletin** 42:(3) 568-579.

Buzelli GM, Cunha-Santino, MBD (2013) Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água** 8:94 186-205.

Caldwell DH, Langelier WF (1948) Manometric measurement of the biochemical oxygen demand of sewage. **Sewage works J.** 20:202-218.

Chambers, PA, Prepas, EE, Bothwell, ML, Hamilton, HR, (1989) Roots versus shoots in nutrient uptake by aquatic macrophytes in flowing waters. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 46:435–439. <https://doi.org/10.1139/f89-058>.

Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução CONAMA (2005) **Resolução nº357**, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

Chatanga P, Ntuli V, Mugomeri E, Keketsi T, Chikowore NV (2019) Situational analysis of physico-chemical, biochemical and microbiological quality of water along Mohokare River, Lesotho. **The Egyptian Journal of Aquatic Research** 45:45-51.

CETESB (2014) Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Norma técnica CETESB L5.306**. Determinação de clorofila a e feofitina a: método espectrofotômetro, 3th ed. 14p.

CONAMA (2015) **Resolução no 465**. Dispõe sobre critérios para 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 da outras providências, 5p. 2015. Publicado no DOU no135. seção 1. p. 70-71.

Cruz C, Silva AF, Luna LV, Yamauchi AKF, Garlich, N, Pitelli RA (2015) Glyphosate Effectiveness in the Control of Macrophytes Under a Greenhouse Condition. **Planta Daninha** 33:24-47.

Dhanjai, SA, Zhao H, Chen J, Mugo SM (2018). Determination of Chemical Oxygen Demand: An Analytical Approach. **Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering**. Encyclopedia of Analytical Science. 3rd Edition. 14p. doi:10.1016/b978-0-12-409547-2.14517-2.

Ekanayake, MS, Udayanga, D, Wijesekara, I, Manage, P (2021) Phytoremediation of synthetic textile dyes: biosorption and enzymatic degradation involved in efficient dye decolorization by *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Pistia stratiotes* L. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11699-8>

Fares, ALB, Calvão LB, Torres, NR, Gurgel, ESC, Michelin, TS (2020). Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. **Ecological Indicators**, 113:106-231. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106231>.

Garlich, N, Da Cruz, C, Da Silva, AF, Carraschi, SP, Malaspina, IC, Pitelli, RA, Bianco, S (2016) Diquat associated with copper sources for algae control: Efficacy and ecotoxicology. **Journal of Environmental Science and Health, Part B** 51:215-221.

Garlich, N, Garcia, GL, Oliveira, AC, Santos, KP, Pitelli, RA, Ferreira, MC, Cruz, C (2020) Electrostatic spraying of imazamox to control the floating aquatic plant *Salvinia molesta* and its effects on environmental indicators of water quality. **Journal of Environmental Science and Health, part B**. doi.org/10.1080/03601234.2020.1858684

Golterman HL, Clymo RS, Ohndtad MAM (1978) **Methods for physical and chemical analysis of fresh water** 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publication. IBP Handbook. no. 8. 213 p.

Guimarães, GL, Foloni, LL, Piteli, R, Martins, AT (2003) Metodologia para avaliação de impacto ambiental de macrófitas em mesocosmos. **Planta Daninha** p. 37-42.

Gupta, N, Pandey, P, Hussain J (2017) Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India. **Water Science** 31:11-23.

Heffernan, JB, Cohen, MJ (2010) Direct and indirect coupling of primary production and diel nitrate dynamics in a subtropical spring-fed river. **Limnol. Oceanogr** 55:677–688.

Henares, MNP, Camargo, AFM (2014) Estimating nitrogen and phosphorus saturation point for *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Salvinia molesta* Mitchell in mesocosms used to treating aquaculture effluent. **Acta Limnologica Brasiliensia** 26(4):420-428.

Holm, LG, Plucknett, DL, Pancho, JV, Herberger, JP (1977) The World's Worst Weed, distribution and biology. Honolulu: The **Univ. Press of Hawaii**. 609 p.

Hu Z, Grasso D (2005) Water analysis. Chemical Oxygen Demand. **Encyclopedia of Analytical Science**. p. 325–330

Hu Z, Grasso D (2005) Water analysis. Chemical Oxygen Demand. **Encyclopedia of Analytical Science** pp.325–330

Kissmann, KG (2000) **Uso de herbicidas no contexto do Mercosul**. In: congresso brasileiro da ciência das plantas daninhas. Foz do Iguaçu: SBCPD, p. 92-116.

Li J, Luo G, He L, Xu J, Lyu J (2018) Analytical approaches for determining chemical oxygen demand in water bodies: A review. **Critical reviews in analytical chemistry**.

Lyra GC, Yabuki LNM, Queluz JGT, Garcia ML (2020) Avaliação da qualidade da água da lagoa de Marapendi–Rio de Janeiro, RJ. **Holos Environment** 20:73-87.

Mackereth FIF, Heron J, Talling JF (1978) Water analysis: some revised methods for limnologist. **Freshwater Biological Association**, London: 121p.

Madsen, TV, Cedergreen, N, (2002) Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream. **Freshw. Biol.** 47:283–291.

Melo JR AS, Santos GR, Silva GS, Melo RCC, Jesus TA (2019) Monitoramento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) em lagoas de estabilização. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation** 7:128-146.

OECD (2004) **Organisation for Economic Co-operation and Development**. Draft Guidance document on simulated freshwater lentic field tests (Outdoor Microcosms and Mesocosms). July, 2004, 26p. <Http://www.oecd.org/fr/securitechimique/essais/32612239.pdf>

Périllon C, Hilt S (2019) Groundwater discharge gives periphyton a competitive advantage over macrophytes. **Aquatic botany** 154:72-80.

Pinheiro, AM, Matos, DMS, Dawson, W, Xavier, RO (2021) Effect of rhizome exposure to contrasting abiotic conditions on the performance of the invasive macrophyte *Hedychium coronarium* J. Koenig (Zingiberaceae). **Plant Ecology** 222(3):375-385.

Preiner, S., Dai, Y., Pucher, M., Reitsema, R. E., Schoelynck, J., Meire, P., & Hein, T. (2020). Effects of macrophytes on ecosystem metabolism and net nutrient uptake in a groundwater fed lowland river. **Science of the Total Environment** 721:137620.

Ribeiro, GM, Maia, CE, Medeiros, JF (2005) Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 09:15-22.

Silva JRV, Martins D (2004) Controle químico de *Typha subulata* em dois estádios de desenvolvimento. **Planta Daninha** 22:437-443.

Souza ELC, Foloni, LL, Filho JT, Velini ED, Siono LM, Silva JRM (2017) Half-Life of Glyphosate on the Control of Water Hyacinths in Water Tanks. **Journal of Water Resource and Protection** 9:470-481.

Souza EL, Filho JT, Velini ED, Silva JR, Tonello KC, Foloni LL, Gonzalez GDD, Barbosa AC, Freato TA (2020). Efficacy of Glyphosate in Water Management and the Effects on Water Quality. **Journal of Water Resource and Protection** 12:50-59.

Stone, CP, Smith, CW, Tunison, JT (1992) (Eds.). Alien plant invasions in native ecosystems of Hawai'i: management and research. **University of Hawai'i**.

Tavares LHS (2013) Uso racional da água em aquicultura. Jaboticabal: **Maria de Lourdes Brandel – ME**. 190p.

Vigiak O, Grizzetti B, Udias-Moinelo A, Zanni M, Dorati C, Bouraoui F, Pistocchi A (2019) Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. **Science of the Total Environment**. 666:1089-1105.

Vidal TF, Neto JC, (2014) Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi** 18:402-407.