

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

Herbicidas Pré-Emergentes na Restauração Florestal do
Bioma Mata Atlântica: Avaliação de Tolerância de
Espécies Nativas e Controle de Plantas Daninhas

Anthony Côrtes Gomes

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**Herbicidas pré-emergentes na restauração florestal do bioma Mata
Atlântica: Avaliação de tolerância de espécies nativas e controle de
plantas daninhas**

ANTHONY CÔRTEZ GOMES

Sob orientação do professor
Prof. Dr. Aroldo Ferreira Lopes Machado

E co-orientação do professor
Prof. Dr. Paulo Sergio dos Santos Leles

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ

2022

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G633h Gomes, Anthony Côrtes, 1995-
Herbicidas pré-emergentes na restauração florestal
do bioma Mata Atlântica: Avaliação de tolerância de
espécies nativas e controle de plantas daninhas /
Anthony Côrtes Gomes. - Seropédica, 2022.
98 f.: il.

Orientador: Aroldo Ferreira Lopes Machado.
Coorientador: Paulo Sérgio dos Santos Leles.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, 2022.

1. Restauração Florestal. 2. Planta Daninha. 3.
Herbicida. 4. Tolerância. 5. Pré-emergentes. I.
Machado, Aroldo Ferreira Lopes, 1977-, orient. II.
Leles, Paulo Sérgio dos Santos, 1966-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. IV. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

ANTHONY CÔRTEZ GOMES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Fitotecnia** na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/08/2022.

Aroldo Ferreira Lopes Machado. DSc. UFRRJ
(Orientador)

Camila Ferreira de Pinho. DSc. UFRRJ

Alexander Silva de Resende. DSc. Embrapa Agrobiologia

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a Sabedoria, Amor, Alegria e Paz.

À minha companheira de vida Cyndi, por me proporcionar tantos momentos de alegria e me ajudar em todos os momentos dessa vida. Amo você!

À minha amada mãe Renata e irmão Breno, por serem meu porto seguro e uma eterna fonte de amor.

Ao meu admirado pai e irmãos, obrigado por todo amor e apoio.

À minha grande família, tias, primos e principalmente avós. Obrigado pela vida maravilhosa que vocês me proporcionaram.

À Denise e Reinaldo, por todo o apoio e carinho.

Aos meus amigos: Marcão, Pedro, Jorginho e Lucas, obrigado pela eterna amizade.

Ao meu orientador Professor Aroldo, por toda confiança, orientação e ternura durante meu processo de aprendizagem nesse novo desafio.

À Professora Camila, por todo incentivo, orientação e confiança.

Ao Professor Paulo Leles, obrigado pela co-orientação.

À família que adquiri durante a pós-graduação, obrigado PDPA por todo apoio. Vocês são incríveis!

Ao meu amigo Eduardo, pela amizade e apoio nos experimentos.

Ao Doutor Alexander, por aceitar o convite para compor a banca.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelo fomento e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, por proporcionar um ambiente de extenso crescimento profissional.

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

À Empresa Da Serra Ambiental, por toda parceria. Obrigado Matarazzo e Bonilha!

À natureza e à diversidade dos nossos biomas brasileiros, obrigado por toda vitalidade.

RESUMO

GOMES, A.C. **Herbicidas pré-emergentes na restauração florestal do bioma Mata Atlântica: Avaliação de tolerância de espécies nativas e controle de plantas daninhas.** 2022. 94p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

Uma das maiores dificuldades para o estabelecimento e sucesso dos empreendimentos de restauração florestal está relacionado a competição exercidas por plantas daninhas, principalmente as do gênero *Urochloa*, da família Poaceae. A utilização de herbicidas surge como alternativa para assegurar o processo de restauração florestal através de plantio de mudas de espécies arbóreas nativas. Diante disso, objetivou-se nesse trabalho avaliar a tolerância de espécies florestais nativas do Bioma Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes e o controle de plantas daninhas por estes herbicidas em áreas de reflorestamento. Os experimentos foram divididos em duas etapas. A primeira foi realizada em área experimental na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e na segunda etapa, o experimento foi montado em área de reflorestamento no município de Joanópolis, São Paulo. No experimento em casa de vegetação avaliou-se a tolerância de *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril*, *Pleroma granulosum*, *Cecropia pachystachya*, *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata*, *Vitex triflora*, *Enterolobium timbouva* e *Bixa orellana* aos herbicidas indaziflam (75 g ha^{-1}), flumioxazin (125 g ha^{-1}), oxyfluorfen (960 g ha^{-1}), sulfentrazone (500 g ha^{-1}) e isoxaflutole (150 g ha^{-1}), mais uma testemunha sem herbicidas. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os herbicidas foram aplicados 30 dias após o transplantio das mudas em aplicação “over the Top”. Avaliou-se os índices de fitotoxicidade aos 7, 14, 21, 28 e 90 dias após aplicação dos herbicidas (DAA), assim como os valores de massa seca de parte aérea e raízes, incremento em diâmetro e altura, e área foliar para as dez espécies propostas. Em adicional aos 7, 14, 35 e 90 DAA foram realizadas análises da fluorescência transiente da clorofila a, para as espécies *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril* e *Pleroma granulosum*. Na segunda etapa, avaliou-se em condições de campo a eficácia de controle de plantas daninhas pelos herbicidas indaziflam (75 g ha^{-1}), oxyfluorfen (960 g ha^{-1}) e isoxaflutole (150 g ha^{-1}) e duas testemunhas com e sem capina. Aos 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação dos herbicidas, foi avaliado o controle de plantas daninhas, e, aos 120 DAA a análise fitossociológica. As variáveis determinadas foram analisadas quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e posteriormente, atendendo as pressuposições, foram submetidas à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Diante dos resultados, conclui-se que as espécies *Vitex triflora* e *Bixa orellana* apresentaram sensibilidade aos herbicidas sulfentrazone e flumioxazin, respectivamente. A espécie *Pleroma granulosum* se apresentou como a mais sensível das espécies avaliadas, apresentando intolerância aos herbicidas indaziflam e sulfentrazone. Para a segunda etapa conclui-se que todos os herbicidas testados apresentaram bom controle de plantas daninhas até aos 60 DAA, todavia, o herbicida oxyfluorfen apresentou melhores resultados de controle até aos 120 DAA, tendo o mesmo, maior eficiência de controle de *Urochloa brizantha*.

Palavras-chave: Fitotoxicidade, plantas daninhas, reflorestamento.

ABSTRACT

GOMES, A.C. **Pre-emergent herbicides in the restoration of the Atlantic Forest biome: Evaluation of the tolerance of native species and weed control.** 2022. 94p. Dissertation (Master in Crop Science), Institute of Agronomy, Department of Crop Science, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

One of the greatest difficulties for the establishment and success of forest restoration enterprises is related to the competition exerted by weeds, especially those of the *Urochloa* genus, of the Poaceae family. The use of herbicides appears as a great alternative to ensure the forest restoration process through the planting of seedlings of native tree species. Therefore, the objective of this work is to evaluate the tolerance of native forest species of the Atlantic Forest Biome to pre-emergent herbicides and the control of weeds by these herbicides in reforestation areas. The experiments were divided into two stages. The first was carried out in an experimental area of the research group on Weeds and Pesticides in the Environment (PDPA), at the Federal Rural University of Rio de Janeiro, and in the second stage, the experiment was set up in a reforestation area in the town of Joanópolis, São Paulo. In the greenhouse experiment, the tolerance of *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril*, *Pleroma granulosum*, *Cecropia pachystachya*, *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata*, *Vitex triflora*, *Enterolobium timbouva* and *Bixa orellana* to the herbicides indaziflam (75 g ha⁻¹), flumioxazin (125 g ha⁻¹), oxyfluorfen (960 g ha⁻¹), sulfentrazone (500 g ha⁻¹) and isoxaflutole (150 g ha⁻¹), plus a control without herbicides. The treatments were arranged in a completely randomized design, with five replications. The herbicides were applied 30 days after transplanting the seedlings in an “over the top” application. Phytotoxicity indexes were evaluated at 7, 14, 21, 28 and 90 days after herbicide application (DAA), as well as the values of shoot and root dry mass, increase in diameter and height, and leaf area for the plants. In addition to 7, 14, 35 and 90 DAA, transient chlorophyll a fluorescence analyzes were performed for the species *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril* and *Pleroma granulosum*. In the second stage, was evaluated under field conditions the effectiveness of weed control by the herbicides indaziflam (75 g ha⁻¹), oxyfluorfen (960 g ha⁻¹) and isoxaflutole (150 g ha⁻¹) and two controls with and without weeding. At 30, 60, 90 and 120 days after herbicide application in the field, weed control was evaluated and at 120 DAA the phytosociology analysis was performed. The determined variables were analyzed for normality by the Shapiro-Wilk test and later, meeting the assumptions, they were submitted to analysis of variance by the F test and the means compared by the Tukey test at 5% probability. In view of the results, it is concluded that the species *Vitex triflora* and *Bixa orellana* were sensitive to the herbicides sulfentrazone and flumioxazin, respectively. The specie *Pleroma granulosum* was the most sensitive of the evaluated species, presenting intolerance to the herbicides indaziflam and sulfentrazone. For the second stage, it is concluded that all herbicides tested showed good weed control up to 60 DAA, however, the herbicide oxyfluorfen showed better control results up to 120 DAA, having the same, greater efficiency in controlling *Urochloa brizantha* of according to phytosociology analysis.

Palavras-chave: Phytotoxicity, weed, reforestation.

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1: Atributos físico-químico da molécula do herbicida flumioxazin.	9
Tabela 2: Atributos físico-químico da molécula do herbicida indaziflam.	9
Tabela 3: Atributos físico-químico da molécula do herbicida isoxaflutole.	10
Tabela 4: Atributos físico-químico da molécula do herbicida sulfentrazone.	10
Tabela 5: Atributos físico-químico da molécula do herbicida oxyfluorfen.	10

CAPÍTULO 1 - Tolerância de espécies nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes usando análise de fluorescência transiente da clorofila a como ferramenta

Tabela 1: Espécies florestais nativas da Mata Atlântica utilizadas em experimento de tolerância a herbicidas pré-emergentes.	22
Tabela 2: Resultado da análise química-física solo utilizado no experimento de tolerância espécies florestais nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes.	23
Tabela 3: Herbicidas utilizados para avaliação da tolerância de espécies florestais nativas da Mata Atlântica.	23
Tabela 4: Principais parâmetros do Teste JIP.	25
Tabela 5: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre a embaúba prata.	29
Tabela 6: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm ²), Razão da Área Foliar (cm ² .g ⁻¹ MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie <i>Cecropia hololeuca</i>	49
Tabela 7: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre a dedaleira.	33
Tabela 8: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm ²), Razão da Área Foliar (cm ² .g ⁻¹ MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie <i>Lafoensia pacari</i> . Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si.	33
Tabela 9: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre o jatobá.	36

Tabela 10: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm ²), Razão da Área Foliar (cm ² .g-1 MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie <i>Hymenaea courbaril</i>	36
Tabela 11: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre a quaresmeira.	40
Tabela 12: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm ²), Razão da Área Foliar (cm ² .g-1 MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie <i>Pleroma granulosum</i>	40
Tabela 13: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre o tamboril.	42
Tabela 14: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre o maricá.	43
Tabela 15: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre o guapuruvú.	45
Tabela 16: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre o pau viola.	46
Tabela 17: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre o urucu.	48
Tabela 18: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas sobre a embaúba branca.	49
Tabela 19: Tolerância das espécies nativas aos herbicidas pré-emergentes.	55

CAPÍTULO 2 - Controle de plantas daninhas em área de restauração florestal

Tabela 1: Espécies florestais nativas da Mata Atlântica a serem utilizadas em experimento em área experimental de restauração florestal em Joanópolis, São Paulo.	68
Tabela 2: Herbicidas utilizados para avaliação do efeito residual e tolerância de espécies florestais nativas da Mata Atlântica.	68
Tabela 3: Análise físico-química realizada em solo da área experimental em Joanópolis, São Paulo.	69
Tabela 4: Fórmulas utilizadas para se determinar os parâmetros fitossociológicos avaliados no experimento em Joanópolis, São Paulo. Adaptado de Piteli et al (2000).	70
Tabela 5: Espécies de plantas daninhas encontradas na área experimental aos 120 dias após aplicação dos herbicidas.	74

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - Tolerância de espécies nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes usando análise de fluorescência transiente da clorofila a como ferramenta

Figura 1: Temperatura e precipitação média para os períodos de condução do experimento. Fonte: INMET.	21
Figura 2: Mudanças de guapuruvú sendo imersas em solução nutritiva. Fonte: Gomes, A. C.	22
Figura 3: Utilização do fluorômetro para realização da análise da fluorescência transiente da clorofila a. Fonte: Gomes, A. C.	26
Figura 4: Visão geral do experimento (A) e detalhe do momento da aplicação dos tratamentos herbicidas (B). imagem (A) Fonte: Leles, P. S. S. (2021). Imagem (B) Fonte: Gomes, A. C. (2021).	27
Figura 5: Fluorescência da clorofila α para a espécie <i>Cecropia hololeuca</i> aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).	28
Figura 6: Planta de <i>Cecropia hololeuca</i> com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 7 DAA (A). Planta de embaúba prata apresentando boa recuperação aos 28 DAA (B). Fonte Gomes, A. C.	30
Figura 7: Fluorescência da clorofila α para a espécie <i>Lafoensia pacari</i> aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).	32
Figura 8: Planta de <i>Lafoensia pacari</i> com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfentrazone aos 28 DAA (A). Planta de dedaleira apresentando boa recuperação aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	34
Figura 9: Fluorescência da clorofila α para a espécie <i>Hymenaea courbaril</i> aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).	35
Figura 10: Nas plantas de <i>Hymenaea courbaril</i> foram observados poucos sintomas de fitotoxicidade. Fonte: Gomes, A. C.	37
Figura 11: Fluorescência da clorofila α para a espécie <i>Pleroma granulosum</i> aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).	39
Figura 12: Planta de <i>Pleroma granulosum</i> com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida indaziflam aos 90 DAA (A). Planta de quaresmeira apresentando sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfentrazone aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	41
Figura 13: Planta de <i>Enterolobium timbouva</i> com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida	

flumioxazin aos 28 DAA (A) e sem sintomas de intoxicação aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	42
Figura 14: Planta de <i>Mimosa bimucronata</i> : com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 28 DAA (A) e sem sintomas de intoxicação, aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	44
Figura 15: Planta de <i>Schizolobium parahyba</i> aos 28 DAA apresentando sintomas de intoxicação pelo herbicida flumioxazin (A). e planta recuperada da intoxicação do flumioxazin aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	45
Figura 16: Planta de <i>Vitex triflora</i> : com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfentrazone aos 28 DAA (A). sem sintomas de intoxicação, aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	47
Figura 17: Planta de <i>Bixa orellana</i> : com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 28 DAA (A) e sem sintomas de intoxicação, aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	48
Figura 18: Planta de <i>Cecropia pachystachya</i> : com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 7 DAA (A). sem sintomas de intoxicação, aos 28 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.	50

CAPÍTULO 2 - Controle de plantas daninhas em área de restauração florestal

Figura 1: Área experimental com histórico de pastagem e predominância de <i>Urochloa brizantha</i> . Fonte: Gomes, A. C.	67
Figura 2: Quadrado de inventário de 0,5 m de lado usado na coleta de plantas daninhas para realização de análise fitossociológica. Fonte: Gomes, A.C.	70
Figura 3: Controle de plantas daninhas (%) pelos herbicidas indaziflam (75 g.ha ⁻¹), isoxaflutole (150 g.ha ⁻¹) e oxyfluorfen (960 g.ha ⁻¹).	71
Figura 4: Controle de plantas daninhas para os tratamentos oxyfluorfen, indaziflam, isoxaflutole e testemunha sem capina aos 60 dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA). Fonte: Gomes, A. C.	72
Figura 5: Controle de plantas daninhas para os tratamentos oxyfluorfen, indaziflam, isoxaflutole e testemunha sem capina aos 90 dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA). Fonte: Machado, A. L. F.	73

Figura 6: Análise da densidade relativa (De.R), frequência relativa (Fr.R), dominância relativa (Do.R) e índice de valor de importância (IVI) para os tratamentos testemunha, isoxaflutole, indaziflam e oxyfluorfen aos 120 DAA.75

Figura 7: Redução de massa seca de *Urochloa brizantha* e *Spermacoce latifolia* em relação à testemunha pelos herbicidas indaziflam (75 g.ha^{-1}), isoxaflutole (150 g.ha^{-1}) e oxyfluorfen (960 g.ha^{-1}).76

SUMÁRIO

1 Introdução	1
2 Revisão de literatura.....	3
2.1 Mata Atlântica.....	3
2.3 Plantas daninhas na restauração florestal	4
2.4 Herbicidas utilizados na restauração florestal	5
2.5 Herbicidas pré-emergentes	8
3 Referências Bibliográficas.....	10
Capítulo 1: Tolerância de espécies nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes usando análise de fluorescência transiente da clorofila a como ferramenta	17
1 Introdução.....	19
2 Material e métodos	21
3 Resultados.....	27
4 Discussão	50
5 Conclusão	55
6 Referências Bibliográficas.....	56
Capítulo 2: Controle de plantas daninhas em área de restauração florestal	64
1 Introdução.....	65
2 Material e Métodos	67
3 Resultados.....	71
4 Discussão	77
5 Conclusão	80
6 Referências Bibliográficas.....	80

1 Introdução

Um dos biomas que se destaca pela sua biodiversidade bem como pelo seu ritmo acelerado de degradação é a Mata Atlântica. Restando apenas 11% da floresta original, torna-se evidente a necessidade de ações de conservação e restauração dessas áreas florestais (KLIPPEL et al., 2015).

Com a redução dessas áreas, a recuperação de ecossistemas degradados vem se tornando atividade crescente e de grande importância ao longo dos últimos anos para a manutenção da biodiversidade (RODRIGUES & GANDOLFI, 2000). A restauração florestal, uma ferramenta de recuperação de áreas perturbadas, vem tendo um grande fomento devido às necessidades de adequação de empreendimentos à legislação ambiental (MARTINS et al., 2019).

O foco da restauração florestal em relação a esses empreendimentos (propriedades rurais, empresas e outras) além de atender as exigências da legislação, é de estabelecer a ecologia nessas comunidades, favorecendo a recuperação da fauna e flora naturais desse ecossistema (TRENTIN et al., 2018). Segundo Metzger et al. (2019), as áreas de matas nativas dentro das propriedades agrícolas favorecem a sobrevivência das espécies polinizadoras, onde 60% das culturas agrícolas no país são dependentes, e asseguram a permanência de inimigos naturais fundamentais para diminuição da ocorrência de pragas nas áreas de produção.

Nas áreas utilizadas para o estabelecimento dessas espécies nativas, a pastagem é predominante com presença de espécies forrageiras, que apresentam elevada habilidade competitiva (SANTOS et al., 2018). No geral, as plantas daninhas, por possuírem maior velocidade de estabelecimento no ambiente, exercem forte competição sobre as espécies florestais, provocando reduções no seu crescimento e onerando os custos de implantação e manejo do povoamento (SANTOS et al., 2020).

Dentre os métodos de controle de plantas daninhas utilizados no reflorestamento, o método tradicional de controle mecânico, capina e roçada, vem apresentando limitações pela grande necessidade do uso de mão de obra e maiores custos se comparados ao controle químico (SANTOS et al., 2018). A utilização de herbicidas na restauração florestal pode ser considerada um mecanismo eficiente, visto que alguns herbicidas podem controlar diversas espécies de plantas daninhas, reduzindo a competição, permitindo maiores taxas de sobrevivência e crescimento das espécies arbóreas (SILVA et al., 2009; MONQUERO et al., 2011; SCORIZA et al., 2015).

Segundo Guerreiro et al. (2018), o manejo adequado para o controle de plantas daninhas em áreas de restauração florestal se caracteriza pela associação de herbicidas pós-emergentes

com herbicidas pré-emergentes. Ainda de acordo com os mesmos autores, uma dessecação da área total com herbicidas pós-emergentes no pré-plantio associado com a aplicação de herbicidas pré-emergentes na linha de plantio após um mês, asseguram uma boa eficácia de controle. Os herbicidas pré-emergentes devido ao efeito residual, proporcionam o controle do banco de sementes de daninhas no solo e garantem uma vantagem de crescimento para as espécies arbóreas nativas em relação às Poaceas (LELES et al., 2017). No entanto, existe a necessidade de estudos para compreender as interações dessas moléculas com as espécies florestais nativas (BRANCALION et al., 2009).

Nesse sentido, objetivou-se avaliar a tolerância de espécies arbóreas nativas do Bioma Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes e avaliar o controle de plantas daninhas em área de restauração florestal por herbicidas pré-emergentes.

2 Revisão de literatura

2.1 Mata Atlântica

A Mata Atlântica se estende por 17 estados brasileiros e é constituída por um conjunto de formações florestais e ecossistemas associados como as restingas, manguezais e campos de altitude (MACHADO et al., 2019). Tal bioma ocupa cerca de 15% do território nacional e se concentra em locais onde se incidem 72% da população em 17 estados brasileiros (MACIEL et al., 2021). É um dos ecossistemas mais ricos do mundo, possuindo grande número de espécies endêmicas, ou seja, espécies que só ocorrem nessas áreas (COGLIATTI-CARVALHO et al., 2000).

Diversos são os benefícios que essas florestas proporcionam para a sociedade. Um desses benefícios é o fornecimento de água para 125 milhões de brasileiros, água essa que supre as necessidades básicas da população e ainda proporciona a geração de energia elétrica a partir de usinas hidroelétricas (JOLY et al., 2014). Outra contribuição desse bioma é sem dúvida a regulação do clima, segundo Manfré et al. (2012), a floresta atlântica tem papel fundamental na distribuição de chuvas ao longo do ano.

Em contrapartida aos benefícios, esse bioma vem sofrendo há cinco séculos com a expansão humana. Atualmente a maiorias das paisagens dessas florestas são pequenos fragmentos florestais cercados por pastagens e campos agrícolas (MEDEIROS et al., 2022). Uma área total de 14.502 hectares foi desmatada entre os anos de 2018 e 2019, sendo do estado de Minas Gerais o maior índice nesse período, com um total de 5.000 hectares de floresta perdida (INPE, 2020).

Por outro lado, a restauração florestal surge como uma grande ferramenta para reverter esse quadro, onde desde o século XIX já eram realizadas iniciativas desse gênero a fim de melhor garantia de serviços ambientais (OLIVEIRA & ENGEL, 2017). Hoje, muitos projetos estão tentando produzir milhares de hectares de florestas permanentes e muitos avanços técnicos estão prestes a ser incorporados. Mas a restauração também enfrenta alguns desafios principais para se tornar um meio eficaz de conservação da Mata Atlântica, que são reduzir custos e entender os melhores métodos de manejos (RODRIGUES et al., 2009).

Além dos benefícios da preservação da Mata Atlântica para manter a biodiversidade de fauna e flora, uma pesquisa realizada por Brancalion et al. (2014) relatou que a comunidade local do município de Iracemápolis (SP – Brasil), vê a restauração florestal e a preservação

desse bioma como uma medida importante para a melhoria da qualidade da água, recreação, turismo e outros.

2.2 Restauração florestal

Os projetos de restauração florestal possuem como objetivo o restabelecimento da estrutura vegetal, assim como, das comunidades ecológicas dos biomas a fim de favorecer a restauração natural desses ecossistemas (MARTINS et al., 2019). Dentre os meios para a concretização de tais empreendimentos, o método de restauração que possui interferência humana é o mais utilizado por proporcionar uma aceleração dos processos de sucessão e crescimento das espécies arbóreas (TRENTIN et al., 2018). Todavia, umas das principais problemáticas na restauração florestal são a presença de plantas daninhas que competem com as espécies nativas por recursos de crescimento (SANTOS et al., 2018).

Em métodos de restauração florestal onde ocorre a interferência humana, o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas oferece diversos benefícios em relação às demais ações, pois mesmo em estágios iniciais de crescimento proporcionam diversas vantagens ecológicas como cobertura do solo, diminuindo a possibilidade de erosão e supressão de gramíneas devido ao sombreamento proporcionado (SILVA et al., 2016). Esse método vem sendo o mais utilizado para tais empreendimentos de restauração na atualidade, pois além das vantagens ecológicas, acelera a sucessão natural e estabelecimento das espécies nativas (KLIPPEL et al., 2015).

2.3 Plantas daninhas na restauração florestal

As espécies da família Poaceae são as que mais interferem negativamente na possibilidade de sucesso de reflorestamentos (SANTOS et al., 2020). No geral, as plantas daninhas, por possuírem maior velocidade de estabelecimento no ambiente, exercem forte competição sobre as espécies florestais, onerando assim os custos de manejo (LELES et al., 2017). Essa competição por espaço, luz, água e nutrientes no solo afeta significativamente o desenvolvimento das espécies arbóreas, onde, as reduções da disponibilidade de água e nutrientes podem causar deficiências nutricionais e queda de crescimento dessas espécies (PEREIRA et al., 2014).

Em estudo realizado por Faria et al. (2018), a ausência de controle do capim braquiária (*Urochloa brizantha*) após 11 meses do transplântio das mudas florestais, afetou significativamente a sobrevivência das mesmas, levando a mortalidade total das espécies arbóreas *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze e *Pterigota brasiliensis* Allemão. Monquero et al.

(2015), avaliando a influência de densidades das espécies *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster (capim-braquiária) e *Ipomoea aristolochiifolia* G.Don (corda-de-viola) sobre as espécies *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose, *Enterolobium timbouva* Mart, *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna e *Luehea burretii* M.C.S. Cunha, observaram que oito plantas de capim- braquiária e corda de viola por vaso contendo uma espécie nativa, foi capaz de reduzir drasticamente a biomassa e quantidade de nutrientes nas folhas das espécies arbóreas.

Em outro ensaio, observando o crescimento de *Cedrela fissilis* Vell., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Sapindus saponária* L. e *Hymenaea courbaril* L. em competição também com o capim-braquiária (*Urochloa brizantha*), a queda de crescimento na parte aérea chegou a 90% em algumas das espécies avaliadas (SANTOS et al., 2019). Menezes et al. (2019), relataram que a espécie *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. teve seu crescimento significativamente reduzido devido a competição com a espécie forrageira *Brachiaria decumbens*. O capim- braquiária também exerceu forte competição sobre a *Schinus terebinthifolius*, diminuindo o ritmo de crescimento dessa espécie (SANTOS et al., 2019).

Grande parte das iniciativas de restauração florestal não proporcionam o estabelecimento das espécies, ocorrendo morte de muitas plantas devido ao controle ineficiente das plantas daninhas (RESENDE & LELES, 2017). De acordo com Leles et al. (2015) o custo de controle de plantas daninhas nos três primeiros anos após implantação do reflorestamento, na Baixada Fluminense (Rio de Janeiro), corresponde a 60% de custo total.

O controle químico vem se apresentando de forma mais eficiente em comparação ao controle mecânico, pois diminui a necessidade de mão de obra e reduz os custos de manejo para o controle de plantas daninhas (SANTOS et al., 2018). No caso do controle químico com herbicidas pré-emergentes ainda se tem a vantagem do efeito residual dessas moléculas no solo, garantindo assim maior possibilidade de crescimento inicial das espécies plantadas e consequentemente, maiores chances de sucesso nos empreendimentos de restauração (MONQUERO et al., 2008).

2.4 Herbicidas utilizados na restauração florestal

A partir de 1940 com o desenvolvimento da indústria de defensivos agrícolas, o controle de plantas daninhas vem sendo realizado em sua maioria pela utilização de herbicida (KNISS, 2015). Os herbicidas substituíram o uso de milhões de trabalhadores que realizavam o controle mecânico de plantas daninhas, diminuindo os custos de produção, aumentando a eficiência de

controle e aumentando o rendimento das culturas (GIANESSI & REIGNER, 2017).

Devido à grande competitividade exercida por essas plantas sobre as espécies nativas, a utilização do controle químico com utilização de herbicidas, vem sendo aceito por órgãos de fiscalização ambiental. Um exemplo seria a resolução nº 190/2019 do Instituto Ambiental Estadual do Rio de Janeiro – INEA, que permite a utilização de herbicidas em áreas de restauração ambiental a fim de garantir maior efetividade para esses projetos através de um controle mais eficiente de plantas daninhas.

Atualmente, através da realização de diversos estudos, os herbicidas vêm sendo mais eficientes no controle de diversas plantas daninhas com uma melhor relação entre os custos e controle (SANTOS et al., 2020). Segundo Leles et al. (2017), dentre esses produtos, os que mais são utilizados são os não seletivos em pós-emergência, ou seja, produtos que controlam as plantas daninhas, mas também podem causar danos às plantas das espécies nativas.

O herbicida mais utilizado nas áreas de reflorestamento é o glyphosate (FLORIDO & BRANCALION, 2014). A causa da utilização dessa molécula para tal finalidade se deve por sua grande eficiência sobre uma ampla gama de plantas daninhas comumente presentes nas áreas de plantio bem como pelo fato desse produto apresentar pouco potencial de contaminação ao ambiente e baixo risco de lixiviação para o lençol freático por ser absorvidos pelas partículas do solo (MACHADO et al., 2013). Esse herbicida tem ação sistêmica, inibe a atividade da enzima piruvil-chiquimato-3 fosfato sintase (EPSPS), comprometendo assim os níveis de aminoácidos aromáticos e afetando consequentemente a sobrevivência das plantas daninhas (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

Em ensaio realizado por Santos et al. (2018), comparando o método de controle mecânico com método de controle químico, o tratamento com a utilização do herbicida glyphosate proporcionou maiores taxas de crescimento das espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-vermelho), *Senna multijuga* (Pau-cigarra), *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), *Peltophorum dubim* (Canafístula) e *Schizolobium parahyba* (Guapuruvú). Os mesmos autores em estudo semelhante em área dominada por *Urochloa brizantha* e *Urochloa decumbens*, observaram que a utilização do adubo verde *Crotalaria juncea* e aplicação do herbicida glyphosate foram mais eficientes em promover o controle das plantas daninhas e promover maior crescimento das espécies em comparação à roçada mecânica (SANTOS et al., 2020). Resultados semelhantes foram observados por Cesar et al. (2013), onde o glyphosate aplicado no plantio e posteriormente na manutenção das mudas, foi superior ao tratamento roçada, cobertura com *Crotalaria breviflora* e *Curcubita moschata* (abóbora) na

entre linha, promovendo assim menor incidência de gramíneas.

No entanto, é fundamental estudar os efeitos desses produtos em relação às espécies nativas, para assegurar que não ocorra toxicidade e eventual mortalidade das mesmas (BRANCALION et al., 2009). Monquero et al. (2011), testando a seletividade dos herbicidas imazapyr, sulfentrazone, metribuzin e glyphosate em árvores nativas da Mata Atlântica, observaram efeito de toxidade para algumas das espécies em relação aos herbicidas aplicados, sendo o glyphosate o que mais causou esses sintomas, sendo ele não seletivo para as espécies florestais estudadas. Segundo os mesmos autores, para as espécies *Ceiba speciosa* (Paineira) e *Enterolobium contortisiliquum* (Tamboril), os herbicidas imazapyr e sulfentrazone foram os mais seletivos (MONQUERO et al., 2011).

Brancaion et al. (2009), utilizando herbicidas com ampla gama de controle sobre plantas daninhas predominantes em áreas de restauração, verificaram que o herbicida sethoxydim foi seletivo para 25 das espécies nativas avaliadas, o herbicida isoxaflutole foi seletivo para 20 espécies e o herbicida bentazon foi seletivo para 24 espécies. A espécie *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), teve uma boa tolerância aos herbicidas sulfentrazone e isoxaflutole, já para o herbicida oxyfluorfen a espécie apresentou sintomas de fitotoxicidade, mas o herbicida não afetou o desenvolvimento da planta (DUARTE et al., 2006).

Apesar dos herbicidas em pós-emergência serem os mais utilizados para a restauração florestal, os herbicidas pré-emergentes também apresentam potencial para tal finalidade (LELES et al., 2017). Esses herbicidas são aplicados antes da emergência das plantas daninhas e tem por função manter o reflorestamento sem a competição das mesmas, no período de maior suscetibilidade (ROHM & HAAS, 1987).

Para os herbicidas em geral é importante observar se as moléculas desses produtos irão promover alguma alteração em recursos hídricos, fauna e flora. A utilização dos herbicidas pós-emergentes mesotrione, fluazifop-P-butyl, e nicosulfuron não promoveram uma mudança muito drástica na mesofauna do solo (SCORIZA et al., 2015). Segundo os mesmos autores, os herbicidas fluazifop-P-butyl e nicosulfuron influenciaram a biota de invertebrados do solo, enquanto o herbicida mesotrione afetou significativamente a riqueza da mesofauna e por isso deve ser evitado em projetos de reflorestamentos. Wagner et al. (2010) indicam que se os herbicidas forem utilizados de forma adequada, respeitando as doses e manejo, os efeitos negativos sobre a vida selvagem são de curto prazo.

2.5 Herbicidas pré-emergentes

Os herbicidas pré-emergentes são produtos com posicionamento de aplicação sobre o solo, que através do seu efeito residual controlam a pré-emergência de plantas daninhas, promovendo o controle do banco de sementes presente no solo (KHALIL et al., 2019). Essas moléculas, diante da absorção pelo epicótilo entre a germinação e a emergência, irá inibir o processo germinativo devido ao contato direto de plântula em início de desenvolvimento com o herbicida presente no solo (NISSEN et al., 2019). Muitos são os fatores que irão interferir na eficiência desses herbicidas, sendo as características físico-químicas das moléculas e do solo em conjunto com as condições ambientais, determinantes para eficiência de controle de plantas daninhas (GAZOLA et al., 2021).

Dentre as características físico-químicas dos herbicidas pré-emergentes que são fundamentais para a sua dinâmica no solo, a constante de ionização (pK_a), coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), solubilidade em água, tempo de meia vida ($T_{1/2}$), pressão de vapor e coeficiente de sorção padronizado para o carbono orgânico (K_{oc}) são as mais relevantes (CHRISTOFFOLETI & LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Para o uso dessas moléculas no campo, é fundamental o entendimento dessas características, uma vez que por exemplo, um herbicida ácido fraco vai estar mais ou menos disponível no solo de acordo com sua constante de ionização (pK_a) e um herbicida pré-emergente não-iônico não terá sua disponibilidade afetada pelo pH, e sim por outras características tais como o coeficiente de sorção (K_{oc}) (GONÇALVES et al., 2021).

Segundo Machado et al. (2010), os ingredientes ativos mais utilizados em pré-emergência na silvicultura são o flumioxazin, isoxaflutole, oxyfluorfen e sulfentrazone. Já o herbicida indaziflam, é um herbicida com grande potencial para uso em pré-emergência em áreas de restauração florestal, devido ao seu longo período residual no solo (GUERRA et al., 2016).

O herbicida flumioxazin tem seu mecanismo de ação baseado na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), podendo ser aplicado em pré e pós-emergência para controle de plantas daninhas dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas (JAREMTCHUK et al., 2009; TIBURCIO et al., 2012). Segundo Oliveira Jr et al. (2021), o flumioxazin pode ser utilizado em mistura com glyphosate e 2,4-D em operações de dessecação pré-plantio. Esse ingrediente ativo apresenta rápida dissipação no solo e eficácia sobre biótipos de plantas daninhas resistentes aos herbicidas inibidores de ALS e triazinas (JAREMTCHUK et al., 2009).

Tabela 1: Atributos físico-químico da molécula do herbicida flumioxazin.

Tipo	Solubilidade	Kow	pKa	Tempo de meia vida	Koc
Não-iônico	0,786 mg.L ⁻¹	2,55	-	21,9	889 mL.g ⁻¹

O indaziflam é ingrediente ativo registrado para uso no Brasil, do grupo químico alquilazina, que atua sobre o crescimento do meristema e inibe a biossíntese de celulose, resultando em clorose e necrose dos tecidos e, posteriormente, a morte das plântulas (KAAPRO et al., 2011; SILVA et al., 2017). Essa molécula, mesmo em doses relativamente baixas, é eficiente no controle de gramíneas e folhas largas, quando aplicado em pré-emergência possui longo período residual no solo, e sua utilização vem contribuindo para redução do banco de sementes de plantas daninhas do solo no cultivo de diversas culturas agrícolas, como por exemplo, café e cana-de-açúcar (AMIM et al., 2016; SILVA et al., 2020).

Tabela 2: Atributos físico-químicos da molécula do herbicida indaziflam.

Tipo	Solubilidade	Kow	pKa	Tempo de meia vida	Koc
Ácido fraco	2,80 mg.L ⁻¹	2,8	3,5	150	1000 mL.g ⁻¹

O isoxaflutole é um herbicida para controle em pré-emergência com eficiência sobre uma gama de plantas daninhas de folhas largas e gramíneas, sendo seu alvo bioquímico a enzima 4- hidroxifenilpiruvato dioxigenase, essencial para a biossíntese da plastoquinona (SMITH et al., 2019). Após inibição dessa enzima, ocorre perda de pigmentação dos tecidos foliares que emergiram, seguindo de paralisação do crescimento e necrose (PALLET et al., 2001). Segundo Machado et al. (2010), esse ingrediente ativo é preferencialmente absorvido pelas raízes, podendo também ser pelas sementes.

Tabela 3: Atributos físico-químicos da molécula do herbicida isoxaflutole.

Tipo	Solubilidade	Kow	pKa	Tempo de meia vida	Koc
Não-iônico	6,20 mg.l ⁻¹	2,34	-	28 dias	112

O herbicida pré-emergente sulfentrazone pertence ao grupo químico das triazolinonas, amplamente utilizado no Brasil, possui uma longa persistência no solo (MADALÃO et al., 2017). sulfentrazone é absorvido pelas partes jovens da planta e translocado via xilema até a enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (GEHRKE et al., 2020). Ao inibir o ~~funamida~~ PROTOX, o mecanismo de ação dessa molécula provoca acúmulos de compostos que interagem com a luz e oxigênio, levando à formação de espécies reativas de oxigênio e consequente peroxidação lipídica observada nas membranas celulares (OLIVEIRA JR et al., 2021).

Tabela 4: Atributos físico-químicos da molécula do herbicida sulfentrazone.

Tipo	Solubilidade	Kow	pKa	Tempo de meia vida	Koc
Ácido fraco	780 mg.L ⁻¹	0,991	6,56	541	43 mL.g ⁻¹

Assim como o sulfentrazone e o flumioxazin, o herbicida oxyfluorfen tem como mecanismo de ação a inibição da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (BARBERIS et al., 2009). Sua molécula possui caráter éter difenílico com atividade seletiva de pré-emergência, usado principalmente para controlar ervas daninhas de folha larga e algumas gramíneas, sendo utilizado em diversas culturas agrícolas (TANDON, 2018).

Tabela 5: Atributos físico-químicos da molécula do herbicida oxyfluorfen.

Tipo	Solubilidade	Kow	pKa	Tempo de meia vida	Koc
Não-iônico	0,116 mg.L ⁻¹	4,86	-	35	7000 mL.g ⁻¹

3 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, D. S. D. Recuperação ambiental da mata atlântica. **Editus**. 2016.

BRANCALION, P. H.; CARDOZO, I. V.; CAMATTA, A.; ARONSON, J., & RODRIGUES, R. R. Cultural ecosystem services and popular perceptions of the benefits of an ecological restoration project in the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration ecology**, v. 22, n. 1, p. 65-71, 2014.

BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I.; MACHADO, R. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; & RODRIGUES, R. R. Selectivity of the herbicides sethoxydim, isoxaflutole and bentazon on native tree species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 251-257, 2009.

CÉSAR, R. G.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; OLIVEIRA, A. M. D.S.; & ALVES, M. C. Does crotalaria (*Crotalaria breviflora*) or pumpkin (*Cucurbita moschata*) interrow cultivation in restoration plantings control invasive grasses?. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 268-273, 2013.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; DA ROCHA, C. F. D.; FREITAS, A. F. N.; DA ROCHA PESS, T. C.; RIOS, I. G.; & ANGRA DOS REIS, R. Bromélias da Ilha Grande.

DEAN, WARREN. With broadax and firebrand: the destruction of the Brazilian Atlantic Forest. **Univof California Press**, 1997.

DUARTE, N. F.; KARAM, D.; SÁ, N.; CRUZ, M. B.; & SCOTTI, M. R.M. Seletividade de herbicidas sobre *Myracrodruon urundeuva* (aroeira). **Planta Daninha**, v. 24, p. 329-337, 2006.

FARIA, J. T.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; DE ASSUMPÇÃO, C.M.; & CALDEIRA, M. W. Influência da mato-competição de capim-braquiária no crescimento inicial de espécies florestais em plantio misto. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 16, n.1, p. 62-71, 2018.

FERREIRA, R. A.; DAVIDE, A. C.; ALCÂNTARA, E. N.; & MOTTA, M. S. Efeito de herbicidas de pré-emergência sobre o desenvolvimento inicial de espécies arbóreas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, n. 1, p. 133-145, 2005.

FLÓRIDO, F. G.; BRANCALION, P. H. S. Uso do herbicida glifosate no panorama de Restauração florestal. 2014.

GIANESSI, L. P.; & REIGNER, N. P. The value of herbicides in US crop production. **Weed Technology**, v. 21, n. 2, p. 559-566, 2007.

GONÇALVES, F.; RESENDE, A.; LIMA, I.; & CHAER, G. Coroamento Manual Versus Papelão na Restauração Florestal: Custos e Efeito sobre o Desenvolvimento das Mudas. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

GUERREIRO, M. F.; NICODEMO, M. L. F.; SANTOS, C. E. S.; & BORGES, W. L. B. **Introdução de árvores em sistemas de produção agrícola no bioma Mata Atlântica na região Sudeste**. 2013.

GUIDOTTI, V.; FREITAS, F. L. M.; SPAROVEK, G.; PINTO, L. F. G. P.; HAMAMURA, C.; CARVALHO, T.; CERIGNONI, F. Números detalhados do novo código florestal e suas implicações para os PRAs. **Technical Report**, IMAFLORA, 2017.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; & TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New phytologist**, v.204, n. 3, p. 459-473, 2014.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; SILVA, G. F. D.; CALDEIRA, M. V. W.; PIMENTA, L. R.; & TOLEDO, J. V. Avaliação de métodos de restauração florestal de Mata de Tabuleiros-ES. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 69-79, 2015.

LELES, P. S. S.; MACHADO, A. F. L.; SILVA, A. P.; SANTOS, F. A. G. Uso de herbicidas na restauração florestal. In: RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S.; Controle de plantas daninhas em restauração florestal. **Embrapa**: Brasília, DF, 2017, p. 45-61.

LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; ALONSO, J. M. Restauração florestal em diferentes espaçamentos. In: LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. (Eds.). Restauração Florestal e a Bacia do Rio Guandu. Seropédica: **Editora Rural**, p.120-156, 2015.

MACHADO, A.; MARTINS, A. P. M.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; WOJCIECHOWSKI, J.; Dinâmica do volume, biomassa e carbono na Mata Atlântica por ferramenta de detecção de mudanças. **Nativa**, v. 7, n. 4, p. 437-444, 2019.

MACHADO, V. M.; SANTOS, J. B.; PEREIRA, I. M.; LARA, R. O.; CABRAL, C.M.; & AMARAL, C. S. Sensitivity of native forest species seedlings to glyphosate. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1941-1951, 2013.

MACIEL, A. L.; ALVES, D.; & SANT'ANNA, S. Análise dos Processos de Desmatamento e Regeneração nas Unidades de Conservação Pertencentes no Vale do Ribeira (SP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 261-277, 2021.

MANFRÉ, L. A.; HIRATA, E.; SILVA, J. B.; SHINOHARA, E. J.; GIANNOTTI, M.A.; LAROCCA, A. P. C.; & QUINTANILHA, J. A. (2012). An analysis of geospatial technologies for risk and natural disaster management. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, 1(2), 166-185.

MARIANO, W. A.; BARROSO, D. G.; VILLA, E. B.; SANTOS, D. P.; & DE ASSISFIGUEIREDO, F. A. M. M. Adequação ambiental e aptidão florestal em quatro municípios do estado do rio de janeiro. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.13, n. 1, 2020.

MARTINS, E. M.; SILVA, E. R. D.; CAMPELLO, E. F. C.; LIMA, S. S. D.; NOBRE, C. P.; CORREIA, M. E. F.; & RESENDE, A. S. D. O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 632-648, 2019.

MENEZES, E. S.; DOS SANTOS, A. R.; MASSAD, M. D.; DUTRA, T. R. AGUILAR, M. V. M.; & MUCIDA, D. P. Crescimento de mudas de *Peltophorum dubium* (spreng.) taub. Sob interferência de plantas espontâneas e forrageiras. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 153-159, 2019.

METZGER, J. P.; BUSTAMANTE, M. M.; FERREIRA, J.; FERNANDES, G. W.;

LIBRÁN-EMBED, F.; PILLAR, V. D.; & OVERBECK, G. E. Why Brazil needs its Legal Reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 3, p. 104-116, 2019.

MONQUERO, P. A.; ORZARI, I.; DA SILVA, P. V.; & DOS SANTOS PENHA, A. Interference of weeds on seedlings of four neotropical tree species. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 2, p. 219-232, 2015.

MONQUERO, P. A.; PENHA, A. S.; ORZARI, I.; HIRATA, A. C. S. Herbicides selectivity on seedlings of native species *Acacia polyphylla*, *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae), *Ceiba speciosa* and *Luehea divaricata* (Malvaceae). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 159-168, 2011.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; SILVA, A. C.; SILVA, P. V.; & AMARAL, L. R. Efficiency of pre-emergence herbicides after different periods of drought. **Planta daninha**, v. 26, n. 1, p. 185-193, 2008.

OLIVEIRA JR, R. S.; BIFFE, D. F.; MACHADO, F. G.; SILVA, V. F. F. Mecanismo de Ação de Herbicidas. In: BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. Matologia: Estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal, SP, 2021, p. 107-205.

OLIVEIRA, R. E.; & ENGEL, V. L. A restauração florestal na Mata Atlântica: três décadas em revisão. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 40-48, 2017.

PEREIRA, F. C. et al. Interferência de plantas daninhas: conceitos e exemplos na cultura do eucalipto. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, n. especial, p. 236-255, 2014.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A.; GANDOLFI, S.; & NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

ROHM, E. P.; HAAS, B. Pré-emergente, características desejadas de um; em, para uso: Técnicas de aplicação de herbicidas pré-emergentes em reflorestamento. Série Técnica IPEF, v. 4, n. 12, p. 61-68, 1987.

SANTOS, F. A. M. D.; LELES, P. S. D. S.; RESENDE, A. D. S.; NASCIMENTO, D. F. D.; & SANTOS, G. R. D. Control strategies of urochloa spp. in the formation of forest restoration. **Ciência Florestal**, V. 30, P. 29-42, 2020.

SANTOS, F. A. M.; DOS SANTOS LELES, P. S.; DA SILVA SANTANA, J. E.; DO NASCIMENTO, D. F.; & MACHADO, A. F. L. Controle químico de plantas daninhas em povoamentos de restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

SANTOS, T. A.; RESENDE, A. S.; SILVA, F. F.; MACHADO, A. F. L.; & CHAER, G. M. Weed interference factor that affect the growth on an Atlantic Forest tree species. **Bioscience Journal**, v. 35, n.2, p. 485-494, 2019.

SANTOS, T. A.; RESENDE, A. S.; SILVA, F. F.; MORAES, L. F. D.; & CHAER, G.M. Growth of tree species in coexistence with palisade grass Urochloa brizantha (Hochst. ex A. Rich.) stapf cv. Marandu. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

SANTOS, T. A.; & SILVA, F. F. Plantas daninhas situadas em áreas de reflorestamento no Brasil: Uma revisão de literatura. **Diversidade e Gestão**. 2018.

SILVA, K. D. A.; MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; DEMOLINARI, R. D. A.; & LOPES, A. T. Restauração florestal de uma mina de bauxita: avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 309-319, 2016.

SCORIZA, R. N.; SILVA, A. D. P.; CORREIA, M. E. F.; LELES, P. S. D. S.; & RESENDE, A. S. D. Efeito de herbicidas sobre a biota de invertebrados do solo em área de restauração florestal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1576-1584, 2015.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; & BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 160-174, 2018.

WAGNER, R. G.; NEWTON, M.; COLE, E. C.; MILLER, J. H., & SHIVER, B. D. Therole

of herbicides for enhancing forest productivity and conserving land for biodiversity in North America. **Wildlife Society Bulletin**, v. 32, n. 4, p. 1028-1041, 2004.

Capítulo 1: Tolerância de espécies nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes usando análise de fluorescência transiente da clorofila a como ferramenta

Resumo: Os herbicidas pré-emergentes são moléculas de grande potencial para a restauração florestal, devido ao efeito residual e consequente controle do banco de sementes de plantas daninhas. Neste trabalho objetivou-se avaliar a tolerância das espécies *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril*, *Pleroma granulosum*, *Cecropia pachystachya*, *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata*, *Vitex triflora*, *Enterolobium timbouva* e *Bixa orellana* a herbicidas pré-emergentes. Para tal finalidade foi conduzido um experimento em vaso com volume de 18 dm³ preenchidos com planosso háplico. Os tratamentos avaliados foram indaziflam (75 g ha⁻¹), isoxaflutole (150 g ha⁻¹), oxyfluorfen (960 g ha⁻¹), flumioxazin (125 g ha⁻¹), sulfentrazone (600 g ha⁻¹), mais uma testemunha sem herbicidas, em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. A aplicação foi realizada “over the top”, aos 30 dias após o transplântio das mudas, utilizando um pulverizador costal pressurizado a CO₂, operando a 40 PSI e equipado com uma barra munida de duas pontas de pulverização AIXR 110.02, aplicando 200 L ha⁻¹ de calda. Imediatamente antes da aplicação e aos 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) avaliou-se o diâmetro do coleto e altura das plantas, para cálculo do incremento em diâmetro e altura. Aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após aplicação dos herbicidas (DAA), foi avaliada a intoxicação das plantas em notas que variaram de 0 (sem sintomas) e 100 % (mortalidade). Aos 7, 14, 35 e 90 DAA foram realizadas análises da fluorescência transiente da clorofila a nas espécies *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril*, *Pleroma granulosum*, para todos os tratamentos. Os dados foram submetidos análise de variância a 5% de significância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). As espécies apresentaram tolerância diferencial aos herbicidas testados. Parâmetros fisiológicos das diferentes espécies foram afetados em decorrência da aplicação dos herbicidas. *Cecropia hololeuca* e *Hymenaea courbaril* apresentaram baixos valores de intoxicação e rápida recuperação, no entanto, os valores de massa de raiz e parte aérea foram afetados em decorrência da aplicação dos herbicidas isoxaflutole, oxyfluorfen e sulfentrazone para a última espécie. Aos 28 DAA a espécie *Lafoensia pacari* apresentou altos valores de fitotoxicidade para os herbicidas flumioxazin e sulfentrazone. O herbicida sulfentrazone afetou os valores de incremento em diâmetro e altura para a espécie *Vitex triflora*, já a espécie *Bixa orellana* teve seu incremento em diâmetro afetado em decorrência da aplicação dos herbicidas indaziflam, isoxaflutole e flumioxazin e o incremento em altura afetado pela aplicação de flumioxazin. No caso de *Bixa orellana*, o único herbicida que afetou o acúmulo de massa seca de raiz foi o flumioxazin. *Vitex triflora* foi uma das espécies mais sensíveis, tendo seus valores de massa seca da parte aérea afetado pela aplicação dos herbicidas indaziflam, isoxaflutole e flumioxazin, assim como, valores de massa seca afetados pelo herbicida sulfentrazone. *Pleroma granulosum* não foi tolerante aos herbicidas indaziflam e sulfentrazone, devido aos valores de fitotoxicidade ainda apresentados ao final do experimento, assim como a interferência causada por essas moléculas em diversos parâmetros de crescimento vegetativo. As espécies nativas apresentaram tolerância aos herbicidas pré-emergentes avaliados, com exceção das espécies *Vitex triflora*, *Bixa orellana* e *Pleroma granulosum*.

Palavras-chaves: Reflorestamento, restauração florestal, controle químico, plantas daninhas.

Abstract: Pre-emergent herbicides are molecules with great potential for forest restoration, due to the residual effect and consequent control of the weed seed bank. The objective of this work was to evaluate the tolerance of *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril*, *Pleroma granulosum*, *Cecropia pachystachya*, *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata*, *Vitex triflora*, *Enterolobium timbouva* and *Bixa orellana* to pre-emergent herbicides. For this purpose, an experiment was carried out in a vase with a volume of 18 dm³ filled with haplic planus. The treatments evaluated were indaziflam (75 g ha⁻¹), isoxaflutole (150 g ha⁻¹), oxyfluorfen (960 g ha⁻¹), flumioxazin (125 g ha⁻¹), sulfentrazone (600 g ha⁻¹), plus one control without herbicides, in a completely randomized design, with five replications. The application was carried out “over the top”, 30 days after transplanting the seedlings, using a backpack sprayer pressurized with CO₂, operating at 40 PSI and equipped with a boom equipped with two AIXR 110.02 spray nozzles, applying 200 L ha⁻¹ of syrup. Immediately before application and 90 days after herbicide application (DAA), the diameter of the collar and height of the plants were evaluated to calculate the increment in diameter and height. At 7, 14, 21, 28, and 90 days after herbicide application (DAA), plant intoxication was evaluated in scores ranging from 0 (no symptoms) to 100% (mortality). At 7, 14, 35 and 90 DAA, transient chlorophyll a fluorescence analyzes were performed in the species *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril*, *Pleroma granulosum*, for all treatments. The data were submitted to analysis of variance at 5% of significance and the means were compared by the Tukey test (p<0.05). The species showed differential tolerance to the herbicides tested. Physiological parameters of different species were affected because of herbicide application. *Cecropia hololeuca* and *Hymenaea courbaril* showed low values of intoxication and rapid recovery, however, the values of root and shoot mass were affected because of the application of the herbicides isoxaflutole, oxyfluorfen and sulfentrazone for the latter species. At 28 DAA, the species *Lafoensia pacari* showed high phytotoxicity values for the herbicides flumioxazin and sulfentrazone. The sulfentrazone herbicide affected the increase in diameter and height for the species *Vitex triflora*, while the increase in diameter affected the species *Bixa orellana* as a result of the application of the herbicides indaziflam, isoxaflutole and flumioxazin and the increase in height affected by the application of flumioxazin. In the case of *Bixa orellana*, the only herbicide that affected the accumulation of root dry mass was flumioxazin. *Vitex triflora* was one of the most sensitive species, having its shoot dry mass values affected by the application of the herbicides indaziflam, isoxaflutole and flumioxazin, as well as dry mass values affected by the herbicide sulfentrazone. *Pleroma granulosum* was not tolerant to the herbicides indaziflam and sulfentrazone, due to the phytotoxicity values still presented at the end of the experiment, as well as the interference caused by these molecules in several parameters of vegetative growth. The native species showed tolerance to the pre-emergent herbicides evaluated, except for the species *Vitex triflora*, *Bixa orellana* and *Pleroma granulosum*.

Keywords: Reforestation, plant physiology, chemical control, weeds.

1 Introdução

A Mata Atlântica, é um bioma que ocorre nas regiões costeiras até as regiões de montanhas, se estende do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul e apresenta uma alta biodiversidade de fauna e flora, 1 a 8 % da biodiversidade mundial (COGLIATTI-CARVALHO et al., 2000; COSTA & SANTOS, 2009). Além de sua riqueza, desempenha papel fundamental no sequestro de gás carbônico da atmosfera e apresenta diversas funções sociais como, por exemplo, o fornecimento de água para diversas cidades, turismo e outros (BRANCALION et al., 2014; AZEVEDO et al., 2018). No entanto, esse bioma apresenta valores expressivos de degradação ambiental ao longo de sua história, valores esses que ainda se apresentam diante dos levantamentos recentes (DEAN, 1996; INPE, 2020).

Em decorrência de projetos de leis como o Novo Código Florestal, lei da Compensação Ambiental e projetos estaduais como o Programa Nascentes, os empreendimentos de restauração florestal vêm crescendo ao longo dos últimos anos (BRANCALION et al., 2014; JOLY et al., 2014; VIERA & VIEIRA, 2016; GUIDOTTI et al., 2017; TRENTIN et al., 2018). Segundo Brancalion et al. (2014), a restauração florestal tem como objetivo a recuperação da integridade ecológica de ecossistemas que foram degradados, danificados ou destruídos.

Um dos grandes entraves ao estabelecimento desses povoamentos, no entanto, é a presença de plantas daninhas, principalmente as espécies forrageiras, que devido ao mecanismo fotossintético C₄, possuem rápido crescimento em temperaturas mais elevadas e consequentemente um alto potencial competitivo sobre as espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (LELES et al., 2017; SANTOS et al., 2020). Predominantemente, as iniciativas com esse objetivo ocorrem em áreas de pastagem, onde desse modo, a competição exercida por essas plantas gramíneas exóticas prejudica os níveis de sucesso e atendimento dos parâmetros de restauração exigidos pela legislação (SANTOS et al., 2018). Como em sua maioria os projetos de restauração florestal são realizados em área de pastagens degradadas, a presença de espécies com essas características aumenta significativamente os custos de implantação, podendo comprometer por completo o sucesso dessas iniciativas (DIAS et al., 2019). Dentre os parâmetros exigidos pelos órgãos fiscalizadores, a biodiversidade de espécies nativas, cobertura de copa, espécies atrativas da fauna, altura das espécies plantadas e níveis de mato competição são observados como indicadores de qualidade em áreas de restauração (INEA, 2019).

Dentre as possibilidades de controle das plantas daninhas, o controle químico, com uso de herbicidas, vem apresentando bons resultados para diminuir a competição com as espécies arbóreas, assim como, para diminuir os custos de implantação desses projetos, dando-se

destaque para o herbicida pós-emergente glyphosate (SANTOS et al., 2018; SANTANA et al., 2020; SANTOS et al., 2020).

Outra possibilidade de controle que apresenta boas perspectivas, todavia, é a utilização de herbicidas pré-emergentes, onde através do efeito residual no solo, inibem a germinação das plantas daninhas, garantindo o crescimento inicial para as espécies nativas (DAN et al., 2011). Os herbicidas pré-emergentes atuam inibindo a germinação ou crescimento das partes jovens das plantas daninhas, onde a absorção pelo epicótilo entre a germinação e a emergência ocorre devido ao contato direto da plântula em início de desenvolvimento com o herbicida presente no solo (NISSEN et al., 2019).

Todavia, diante do efeito residual característico desse produto, é importante que as espécies de interesse sejam tolerantes, para que não ocorra a mortalidade das plantas, assim como, para que o crescimento vegetativo não seja afetado. Estudos realizados com espécies florestais de finalidade comercial, como o eucalipto, vêm apresentando tolerância à diferentes herbicidas pré-emergentes, como por exemplo, flumioxazin, imazamox, imazapir, sulfentrazone, isoxaflutole e outros (MINOGUE et al., 2018; NETO et al., 2018; SANTOS et al., 2019).

Uma alternativa para auxiliar na determinação da tolerância das espécies, é a observação dos parâmetros fisiológicos em decorrência da aplicação de herbicidas. Através da análise da fluorescência transiente da clorofila a, é possível captar os parâmetros da fluorescência, que através de modelagem matemática permite o detalhamento do funcionamento do aparelho fotossintético (STRASSER & STRASSER, 1995; YUSUF et al., 2010). Através dessa análise é possível a observação da eficiência fotossintética em decorrência da aplicação de herbicidas e outros parâmetros abióticos e bióticos, como é caso de diversos estudos que buscam o comportamento de plantas daninhas resistentes à herbicidas (LEAL et al., 2021; LEAL et al., 2022).

Nesse sentido, é importante entender o comportamento das espécies nativas quanto a tolerância à tais moléculas, para que não ocorra mortalidade das mudas em função da utilização desse método de controle. Desse modo, objetivou-se nesse trabalho avaliar, com auxílio de análise fisiológica, a tolerância de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes.

2 Material e métodos

O experimento foi realizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, localizado no município de Seropédica-RJ, em área experimental do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo “AW”, com chuvas concentradas entre novembro e março, com precipitação média de 1.213 mm e temperatura média anual de 23,9 °C (Figura 1).

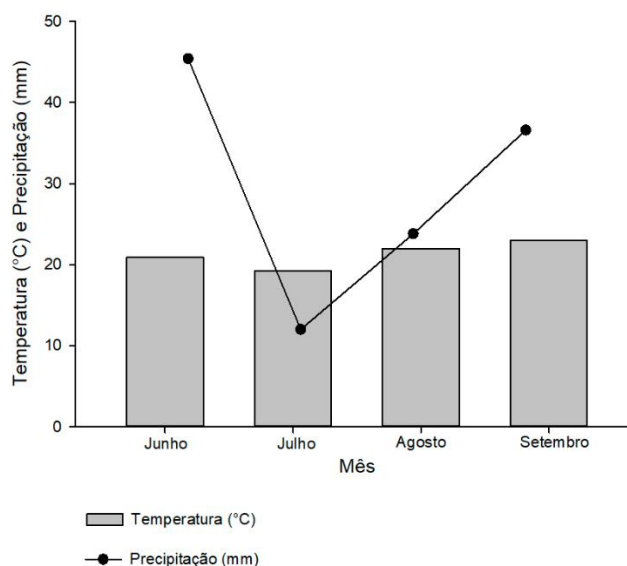


Figura 1: Temperatura e precipitação média para os meses de condução do experimento. Fonte: INMET.

As espécies florestais utilizadas nesse trabalho (Tabela 2) foram selecionadas de acordo com a frequência de uso em projetos de restauração florestal. As mudas foram provenientes de viveiro comercial (Da Serra Ambiental) localizado na cidade de Joanópolis, SP. As mudas foram padronizadas quanto ao tamanho, para cada espécie e imersas em solução contendo nutriente, Forth Enraizador na dosagem de 60 mL para cada 600 mL de água, com objetivo de melhorar o enraizamento (Figura 2). Na sequência as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 18 dm³ (30 cm altura, 30 de base), preenchidos com planossolo háplico proveniente de áreas agrícolas da UFRRJ previamente adubado de acordo com recomendação técnica e análise de solo, onde foram utilizados 0,4 g de nitrogênio, 3,0 g de fósforo e 0,6 g de potássio por vaso no momento do plantio (Tabela 2). As plantas eram irrigadas diariamente de modo a não apresentarem sintomas de déficit hídrico.



Figura 2: Mudas de guapuruvú sendo imersas em solução nutritiva. Fonte: Gomes, A. C.

Tabela 1: Espécies florestais nativas da Mata Atlântica avaliadas quanto a tolerância a herbicidas pré-emergentes.

Nome Popular	Nome Científico	Família
Dedaleira	<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	Lythraceae
Embaúba Prata	<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Urticaceae
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae
Quaresmeira	<i>Pleroma granulosum</i> (Desr.) D. Don	Melastoma
Embaúba Branca	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.	Urticaceae
Guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake.	Fabaceae
Maricá	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze.	Fabaceae
Pau-Viola	<i>Vitex triflora</i> Vahl.	Verbenace
Tamboril	<i>Enterolobium timbouva</i> Mart.	Fabaceae
Urucu	<i>Bixa orellana</i> L.	Bixaceae

Tabela 2: Resultado da análise química do solo utilizado no experimento de tolerância de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica a herbicidas pré-emergentes.

Prof	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	N	pH _{água}	P	Mo.	Corg
Cm	----- Cmol _c / dm ³ -----							----- % -----				1:2,5	mg/L	%	%
0-20	0,02	1,20	1,47	0,01	0,6	0,05	2,70	3,30	81,8	1,82	0,6	5,19	15,34	3,2	1,85
----- Granulometria (g Kg⁻¹ TFSA^a) -----															
--															
Areia								Silte				Argila			
839								92				69			

^a TFSA: terra seca fina ao ar.

Tabela 3: Herbicidas utilizados para avaliação da tolerância de espécies florestais nativas da Mata Atlântica.

Ingrediente ativo	MOA	Nome comercial	Dose (g ha⁻¹i.a.)*	Dose L ha⁻¹p.c.)**
Flumioxazin	Inibidores da PROTOX	Flumizyn 500 SC	125	0,250
Indaziflam	Inibição da síntese de celulose	Alion	75	0,150
Isoxaflutole	Inibidores da síntese de caroteno	Provence 750 WG	150	0,200
Oxyfluorfen	Inibidores da PROTOX	Goal BR	960	4,00
Sulfentrazone	Inibidores da PROTOX	Boral 500 SC	500	1,20
Testemunha		-	-	-

*Ingrediente ativo. **Produto comercial.

Aos 30 dias após o transplante das mudas nos vasos, foi realizada a aplicação dos herbicidas utilizando um pulverizador costal pressurizado com CO₂, de pressão constante, munido de uma barra equipada com duas pontas de pulverização do tipo leque AIXR 110.02, espaçadas de 0,5 m, trabalhando a pressão constante de 240 kPa, aplicando volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹. No momento da aplicação e 90 dias após a mesma, as plantas foram mensuradas quanto à sua altura e diâmetro do coleto, com a utilização de uma régua graduada e de um paquímetro digital, respectivamente. A partir dessas medições foi mensurado o incremento em altura e em diâmetro das espécies arbóreas.

A fitotoxicidade das plantas foi avaliada aos 7, 14, 21 28 e 90 dias após aplicação dos herbicidas (DAA), por meio de observação visual, atribuindo-se notas de 0 a 100 %, onde 0% significa ausência de sintomas visuais e 100%, morte da planta (SBCPD, 1995).

Aos 7, 14, 35 e 90 DAA a análise da fluorescência transiente da clorofila *a* foi medida somente para as espécies *Lafoensia pacari*, *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbaril* e *Pleroma granulosum*, devido limitações de tempo para realização em todas as espécies. Para tal procedimento, utilizou-se um fluorômetro portátil (HandyPEA, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). Foram utilizados cliques para estas medições, colocados no terço médio de folhas jovens completamente expandidas. As medições foram realizadas no período da manhã, 20 minutos após a adaptação das folhas ao escuro. A emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pulso de luz saturante numa intensidade de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A partir da curva de emissão de fluorescência transiente obtida após o pulso, as intensidades determinadas a 50 μs (fluorescência inicial - F0), 100, 300 μs , 2 (FJ) e 30 (FI) ms e FM (fluorescência máxima), foram utilizadas para o cálculo dos parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (STRASSER & STRASSER, 1995).

Tabela 4: Principais parâmetros do Teste JIP (STRASSER et al., 2004 e adaptado por YUSUF et al., 2010).

<i>Parâmetros de fluorescência calculados a partir dos dados primários obtidos</i>	
$F_V = F_M - F_0$	Fluorescência variável
F_V/F_M	Rendimento quântico máximo do FSII
V_t	Fluorescência variável relativa em um tempo “t”
V_j	Fluorescência variável relativa em relação ao nível J
V_i	Fluorescência variável relativa em relação ao nível I
$M_0 = 4(F_{300\mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$	Declive inicial aproximado (em ms^{-1}) da fluorescência transiente $V = f(t)$
$S_s = V_j/M_0$	Área total normalizada complementar correspondente apenas a fase OJ (reflete um único volume de eventos de redução de Q_A)
$S_m = (\text{Área})/(F_M - F_0)$	Área total normalizada complementar acima da curva OJIP (reflete múltiplos eventos de redução Q_A)
$N = S_m/S_s$	Número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons entre o tempo 0 e t (necessário para atingir F_M)
<i>Atividade específica por centro de reação (RC)</i>	
$ABS/RC = M_0 (1/V_j) (1/\phi P_0)$	Medida do tamanho aparente do sistema antena ou o fluxo de absorção por RC
$TR_0/RC = M_0 (1/V_j)$	Máxima taxa pela qual um éxciton é capturado pelo RC resultando em uma redução da plastoquinona (Q_A^-)
$ET_0/RC = M_0 (1/V_j) \Psi_0$	Reoxidação da Q_A^- via transporte de elétrons em um RC ativo
$DI_0/RC = (ABS/RC) - (TR_0/RC)$	Razão de dissipação total de energia de excitação não capturada do total de RC, sendo a dissipação neste caso à perda de energia na forma de calor
RE_0/RC	Redução do aceptor final de elétrons no lado do aceptor de elétrons do FSI por RC
<i>Rendimentos energéticos ou taxas de fluxo</i>	
$\phi P_0 = TR_0/ABS = F_V/F_M$	Rendimento quântico máximo fotoquímico
$\phi E_0 = ET_0/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_A^- para o intersistema de aceptores de elétrons
$\phi D_0 = 1 - \phi P_0 = (F_0/F_M)$	Rendimento quântico para dissipação de energia
$\phi R_0 = RE_0/ABS$	Rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_A^- para o aceptor final de elétrons do FSI
<i>Eficiências</i>	
$\psi_0 = ET_0/TR_0$	Eficiência com que um éxciton capturado no RC pode mover um elétron de Q_A^- para o intersistema de aceptores de elétrons
$\rho_0 = RE_0/TR_0$	Eficiência com que um éxciton capturado no RC pode mover um elétron dentro da cadeia de transporte de elétrons de Q_A^- para os aceptores finais de elétrons do FSI
$\delta_0 = RE_0/ET_0$	Eficiência com que um elétron pode mover o intersistema de aceptores de elétrons reduzidos no intersistema para o aceptor final de elétrons do FSI
<i>Índices de desempenho</i>	
$PI_{ABS} = \frac{RC}{ABS} \times \left(\frac{\phi P_0}{1 - \phi P_0} \right) \times \left(\frac{\Psi_0}{1 - \Psi_0} \right) = \frac{RC}{ABS} \times \frac{TR_0}{DI_0} \times \frac{ET_0}{1 - ET_0}$	Índice de desempenho fotossintético (conservação de energia a partir do éxciton para a redução dos aceptores de elétrons do intersistema)
$PI_{ABS, total} = PI_{ABS} \times \left(\frac{\delta_0}{1 - \delta_0} \right)$	Índice de desempenho fotossintético total (conservação de energia a partir de éxciton para a redução de aceptores finais do FSI)



Figura 3: Utilização do flurômetro para realização da análise da fluorescência transiente da clorofila a. Fonte: Gomes, A. C.

Aos 90 dias após a aplicação, as plantas foram cortadas rente ao solo e separadas as raízes da parte aérea. As folhas também foram separadas dos galhos e passadas em medidor de área foliar (AF) de bancada LICOR-3600. Posteriormente, esse material foi acondicionado em saco de papel e levado para estufa de circulação forçada de ar, a temperatura de 70 °C, por 72 horas, ou até atingirem massa constante. Em seguida esse material foi pesado em balança analítica para obtenção da massa seca da parte aérea e das raízes. De obtenção dos dados de massa seca e área foliar, foram calculados os parâmetros de razão da área foliar (RAF) e relação raiz parte aérea de acordo com a metodologia de Benincasa (1988).

Os dados referentes à fitotoxicidade, crescimento em altura e diâmetro de coleto, comprimento de raiz e massa seca de parte aérea e raízes, área foliar (AF), razão da área foliar (RAF) e índice raiz/parte aérea foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e posteriormente, atendendo as pressuposições, foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).



Figura 4: Visão geral do experimento (A) e detalhe do momento da aplicação dos tratamentos herbicidas (B). imagem (A) Fonte: Leles, P. S. S. (2021). Imagem (B) Fonte: Gomes, A. C. (2021).

3 Resultados

Em *Cecropia hololeuca* (embaúba prata), para os parâmetros fisiológicos observados através da análise da fluorescência transiente da clorofila a, aos 7 DAA, verificou-se aumento do índice de desempenho fotossintético (PIabs) nas plantas que receberam aplicação dos herbicidas oxyfluorfen e sulfentrazone (Figura 5-A). Aos 14 DAA, os tratamentos flumioxazin e oxyfluorfen foram responsáveis por aumento da dissipação de calor (DIO/RC) e consequente diminuição dos parâmetros de desempenho fotossintético (PIabs e PItotal) (Figura 5-B). Em contrapartida, aos 35 e 90 DAA, nenhum parâmetro fotossintético avaliado diferiu da testemunha sem herbicidas, evidenciando assim, que a embaúba prata, apresenta rápida resposta fisiológica aos herbicidas pré-emergentes aplicados (Figura 5-C-D).

Em paralelo, com as análises de fitotoxicidade e crescimento vegetativo, verificou-se que a espécie *C. hololeuca* apresentou pouca sensibilidade aos herbicidas pré-emergentes avaliados (figura 6). Os incrementos em diâmetro e em altura das plantas não foram influenciados pelos herbicidas, assim como o acúmulo de massa seca da parte aérea e de raízes (Tabela 5). Para fitotoxicidade dos herbicidas, os maiores valores foram observados nas plantas submetidas à oxyfluorfen e ao flumioxazin, que obtiveram valores médios de 41 e 46%, respectivamente em avaliação realizada aos 7 DAA dos herbicidas (Tabela 5). Esses valores regrediram para 34 e 42 %, respectivamente, para o oxyfluorfen e flumioxazin (Tabela 6), aos 14 DAA. A partir desse ponto, a fitotoxicidade reduziu gradativamente nas plantas tratadas com os herbicidas oxyfluorfen, flumioxazin e sulfentrazone até não ser mais constatado diferenças

com a testemunha aos 90 DAA (Tabela 5). Os demais herbicidas indaziflam e isoxaflutole proporcionaram acréscimo no índice de fitotoxicidade a partir de 14 DAA até 28 DAA, com valores de fitotoxicidade de 6 e 18%, respectivamente. No entanto, aos 90 DAA para ambos os herbicidas não se verificou valores de fitotoxicidade expressivos, não diferindo da testemunha. Para os parâmetros área foliar, razão de área foliar e relação raiz parte aérea, não foram verificadas diferenças significativas em função dos herbicidas avaliados (Tabela 6).

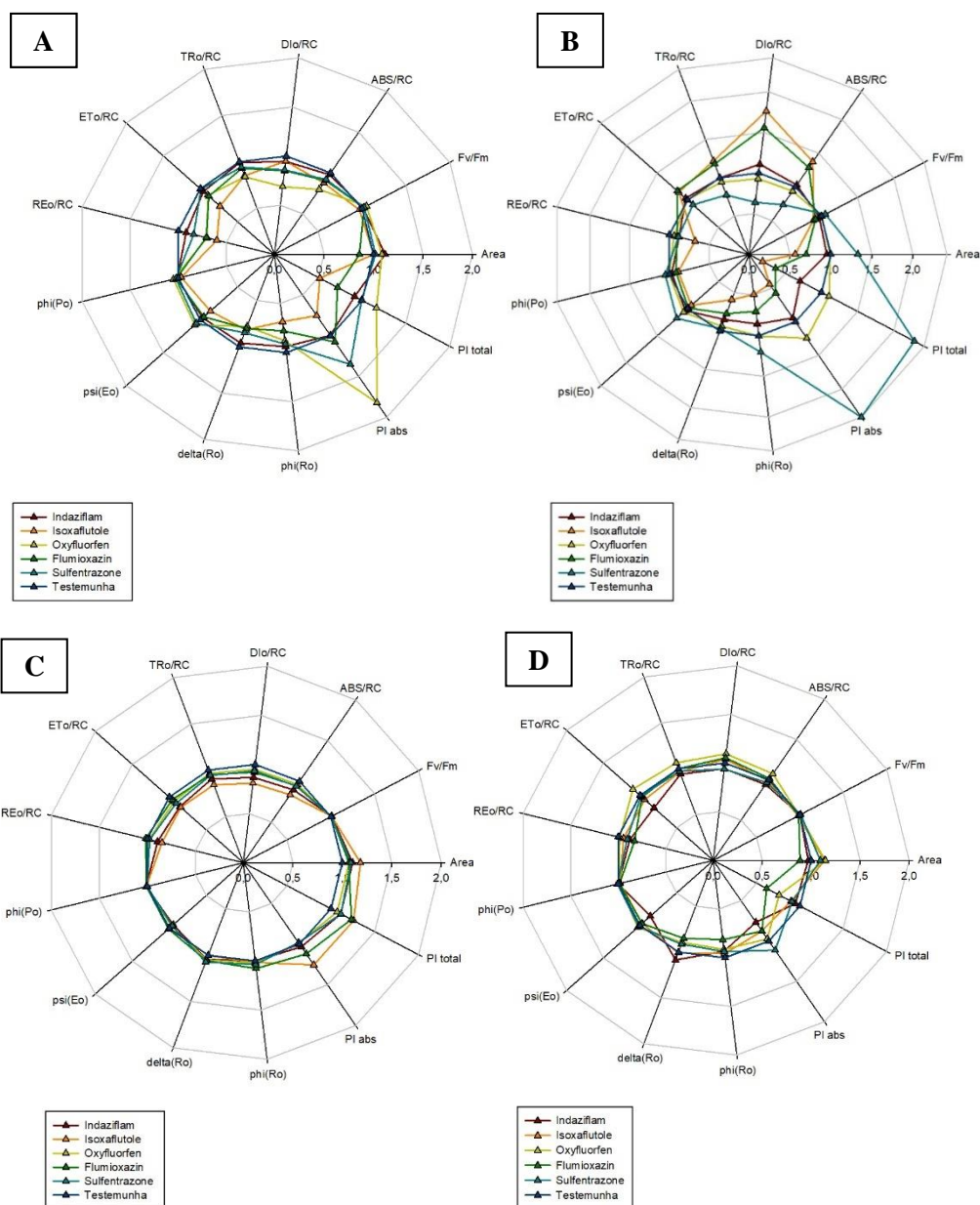


Figura 5: Fluorescência da clorofila α para a espécie *Cecropia hololeuca* aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).

Tabela 5: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre a embaúba prata.

<i>Cecropia hololeuca</i> - Embaúba Prata									
Tratamento	DiâmetroΔ	AlturaΔ	MSPA ns	MSR ns	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90
Indaziflam	9,4	13,4	16,8	10,4	0 c	0 c	4 b	6 a	0
Isoxaflutole	9,2	18,6	20,8	15	0 c	7 c	16 a	18 a	0
Oxyfluorfen	9,4	14,4	20,8	12,2	41 a	34 b	20 a	16 a	0
Flumioxazin	7,6	7,4	17	10,6	46 a	42 a	36 a	24 a	0
Sulfentrazone	9,2	15,8	20	14	29 b	26 b	24 a	24 a	0
Testemunha	8,7	11,5	16,5	12,5	0 c	0 c	0 b	0 a	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6: Parâmetros de crescimento vegetativo de plantas: Área Foliar (cm²), Razão da Área Foliar (cm².g⁻¹ MS) e Relação Raíz Parte Aérea, para a espécie *Cecropia hololeuca*.

Tratamento	Área foliar	Razão da Área Foliar	Relação Raíz Parte Aérea
Indaziflam	933,12	33,962	0,628
Isoxaflutole	1637,44	45,488	0,730
Oxyfluorfen	1272,86	38,996	0,592
Flumioxazin	1069,12	44,502	0,632
Sulfentrazone	1283,40	36,946	0,688
Testemunha	986,36	34,284	0,814

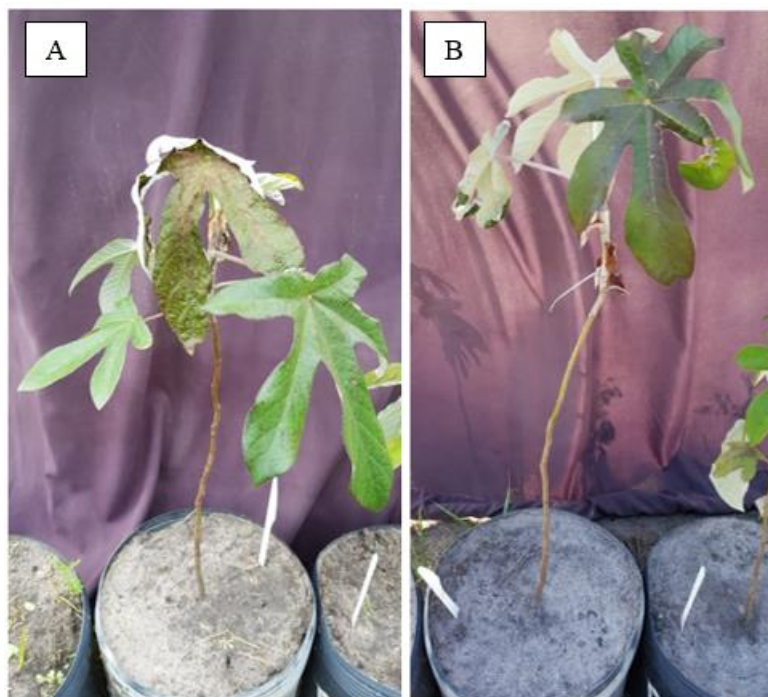


Figura 6: Planta de *Cecropia hololeuca* com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 7 DAA (A). Planta de embaúba prata apresentando boa recuperação aos 28 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.

Para a espécie *Lafoensia pacari* (dedaleira) pode-se observar (Figura 7-A), aos 7 DAA, que sob aplicação dos herbicidas isoxaflutole, flumioxazin e sulfentrazone o desempenho fotossintético foi reduzido (PIabs e PItotal) em decorrência do aumento da dissipação de calor (DIO/RC). O indaziflam, diferente dos demais herbicidas, promoveu aumento do desempenho fotossintético (PIabs e PItotal), diminuição do tamanho aparente do sistema antena (ABS/RC) e diminuição da captura de energia pelo centro de reação (Tro/RC). Aos 14 DAA os parâmetros apresentaram os mesmos padrões observados na avaliação de 7 DAA (Figura 7-B). Aos 35 DAA, no entanto, os tratamentos isoxaflutole, flumioxazin, oxyfluorfen e indaziflam promoveram maior desempenho fotossintético (PIabs e PItotal), caracterizado como possibilidade de reação da planta para recuperação de situações de estresse (Figura 7-C). Todavia, ao final do experimento, todos os tratamentos apresentavam considerável dissipação de calor (DIO/RC), aumento do tamanho do complexo antena (ABS/RC), aumento de energia captura pelo centro de reação (Tro/RC) e diminuição do desempenho fotossintético (PIabs e PItotal). Nessa situação, é possível observar que a dedaleira ainda apresentava estresse em decorrência dos herbicidas pré-emergentes aos 90 DAA (Figura 7-D).

O maior índice de fitotoxicidade nas plantas de *L. pacari* foi observado nas plantas que receberam a aplicação do sulfentrazone (figura 8). A intoxicação foi de 46%, aos 7 DAA, e

diferiu dos demais tratamentos e da testemunha. Verificou-se ainda um aumento da intoxicação para 74 %, aos 28 DAA (Tabela 7). Os demais herbicidas inibidores da PROTOX, oxyfluorfen e flumioxazin, promoveram valores expressivos de intoxicação ao longo do experimento, com destaque para o flumioxazin que apresentou um valor de 50 % aos 28 DAA. Os tratamentos indaziflam e isofalutole, tiveram seus máximos valores de fitotoxicidade aos 28 DAA, com 28 e 22 %, respectivamente.

Verifica-se que o uso do herbicida sulfentrazone reduziu o acúmulo de massa para a parte aérea da planta, porém, não foi observado efeito sobre a massa seca de raízes. Os tratamentos isoxaflutole e sulfentrazone promoveram menor área foliar (AF) para as mudas de dedaleira, todavia, para os parâmetros de razão da área foliar (RAF) e índice raiz/parte aérea não houve diferença estatística (Tabela 8). Aos 90 DAA só se observou fitotoxicidade nas plantas que receberam o sulfentrazone, com um valor de 32 %. No entanto, devido aos demais parâmetros de crescimento vegetativo não diferirem estatisticamente da testemunha, a espécie *L. pacari* foi considerada tolerante aos herbicidas testados.

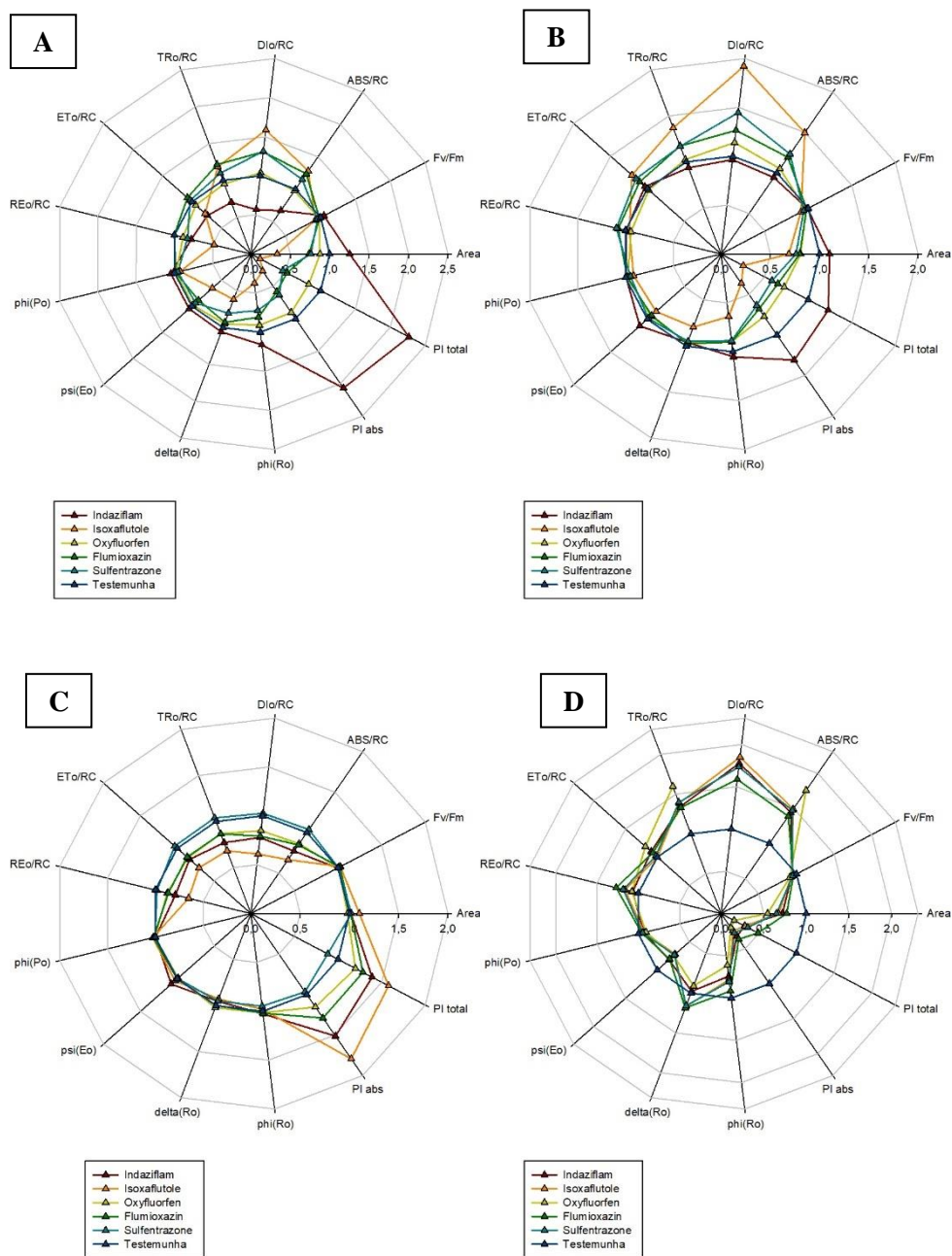


Figura 7: Fluorescência da clorofila α para a espécie *Lafoensia pacari* aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).

Tabela 7: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre a dedaleira.

<i>Lafoensia pacari</i> – Dedaleira									
Tratamento	DiâmetroΔ ns	AlturaΔ ns	MSPA	MSR ns	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90 ns
Indaziflam	6	12	17 a	6,8	0 c	9 d	24 c	28 c	3
Isoxaflutole	5,4	15	14,8 a	6,6	0 c	0 d	6 d	22 c	3
Oxyfluorfen	6,8	10,6	17,4 a	6,6	26 b	28 c	20 c	18 c	0
Flumioxazin	5,8	13,6	21,6 a	8,4	27 b	47 b	52 b	50 b	0
Sulfentrazone	5,4	13,6	10,6 b	4	46 a	68 a	71 a	74 a	32
Testemunha	6,4	9,4	8,6 b	6	0 c	0 d	0 d	0 c	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm²), Razão da Área Foliar (cm².g⁻¹ MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie *Lafoensia pacari*. Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si.

Tratamento	Área foliar	Razão da Área Foliar	Relação Raíz Parte Aérea
Indaziflam	1304,20 a	55,3	0,404
Isoxaflutole	783,06 b	36,486	0,472
Oxyfluorfen	1088,42 a	46,048	0,386
Flumioxazin	1186,26 a	58,936	0,376
Sulfentrazone	692,78 b	58,936	0,476
Testemunha	271,92 b	18,380	0,894

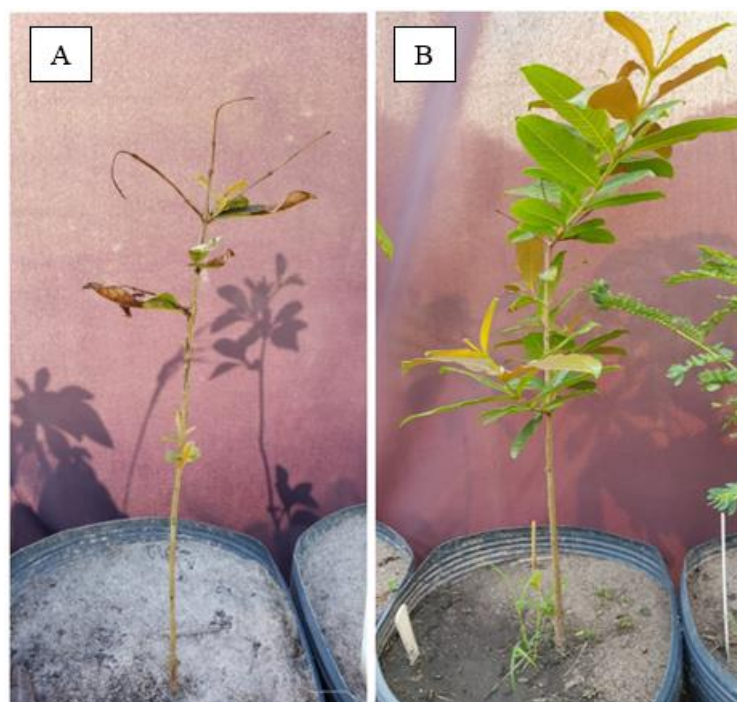


Figura 8: Planta de *Lafoensia pacari* com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfentrazone aos 28 DAA (A). Planta de dedaleira apresentando boa recuperação aos 90 DAA (B).
Fonte: Gomes, A. C.

Plantas da espécie *Hymenaea courbaril* (Jatobá) não apresentaram valores expressivos de fitotoxicidade. entretanto, os efeitos e alterações no aparato fotossintético, puderam ser observados na análise de fluorescência da clorofila a (Figura 9). Aos 7 DAA, o herbicida flumioxazin causou aumento do parâmetro fotossintético (PIabs), enquanto os demais herbicidas proporcionaram leve decréscimo do desempenho fotossintético (PIabs e PItotal) (Figura 9-A). Já aos 14 DAA, todos os herbicidas, com exceção do indaziflam, proporcionaram queda do rendimento fotossintético em decorrência da dissipação de calor (DIO/RC) em plantas de *H. courbaril* (Figura 9-B). Posteriormente, aos 35 DAA, os tratamentos oxyfluorfen e indaziflam promoveram aumento do desempenho fotossintético, enquanto os demais ainda o tinha afetado em decorrência da dissipação de energia em forma de calor (Figura 9-C). Ao final do experimento, com exceção para o sulfentrazone, as plantas que receberam os demais herbicidas apresentavam aumento de desempenho do aparato fotossintético (PIabs e PItotal), indicando uma possível recuperação das plantas de jatobá (Figura 9-D).

O *H. courbaril* foi uma espécie que apresentou poucos sintomas visuais aos herbicidas pré-emergentes avaliados (figura 10). Não se verificou redução no incremento em altura e diâmetro nas plantas avaliadas, independente dos herbicidas (Tabela 9). Os valores mais

expressivos de fitotoxicidade foram observados aos 28 DAA causados pelos herbicidas flumioxazin e sulfentrazone, com valores médios de 16 e 14 %, respectivamente (Tabela 9). Para os demais herbicidas, os valores de intoxicação foram muito baixos e consequentemente inexpressivos. Todavia, os herbicidas isoxaflutole, oxyfluorfen e sulfentrazone afetaram a massa seca da parte aérea e raízes. Aos 90 DAA, nenhum dos herbicidas proporcionaram diferença em relação à testemunha para os parâmetros de fitotoxicidade. Não se verificou redução na área foliar, na razão de área foliar bem como na relação raiz parte aérea em função dos tratamentos avaliados (Tabela 10).

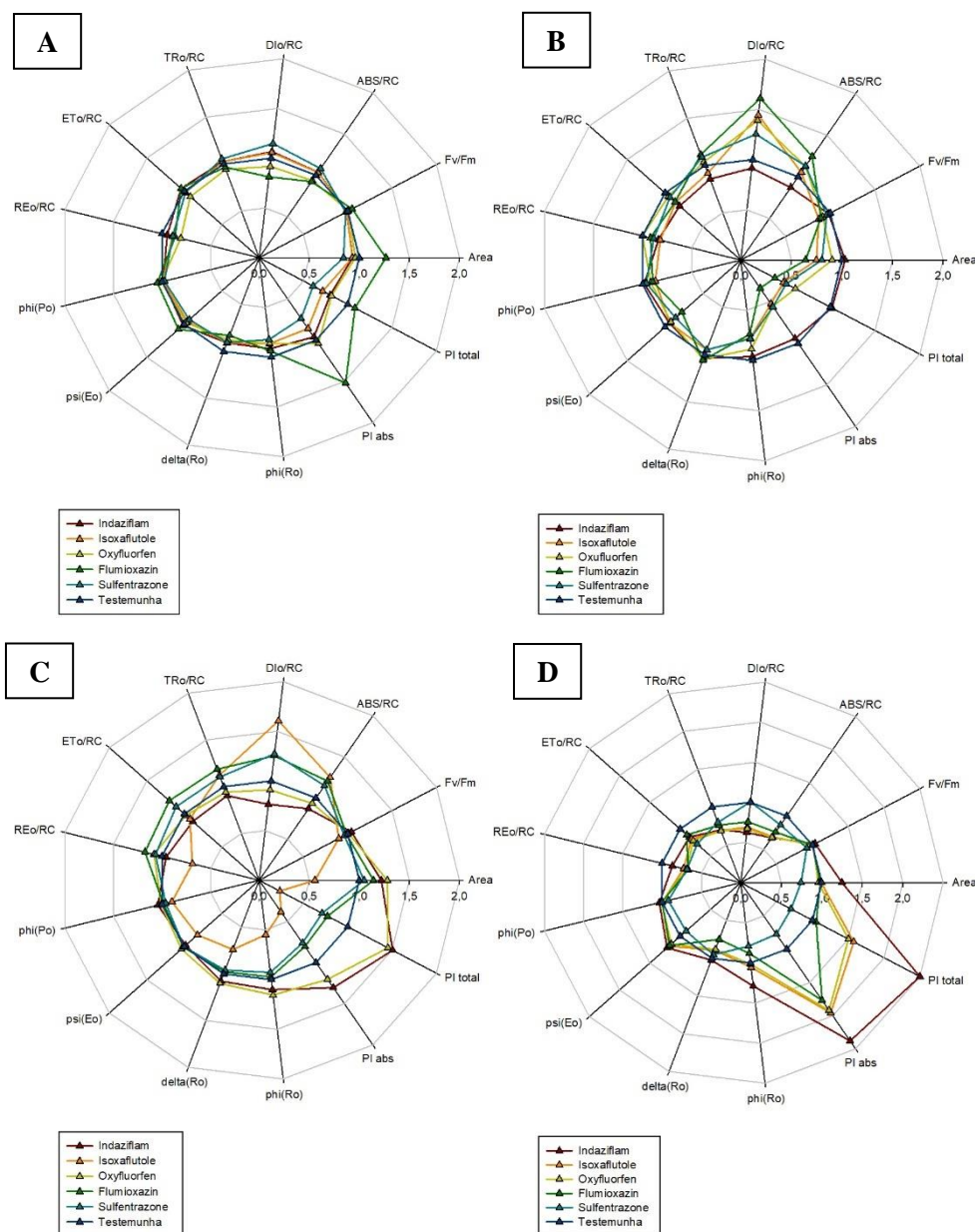


Figura 9: Fluorescência da clorofila α para a espécie *Hymenaea courbaril* aos 7, (A), 14, (B),

35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).

Tabela 9: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre o jatobá.

<i>Hymenaea courbaril</i> – Jatobá									
Tratamento	DiâmetroΔ ns	AlturaΔ ns	MSPA	MSR	7 ns	Fitotoxicidade (%)			
						14	21	28	90 ns
Indaziflam	2	11,6	10,80 a	6,6 a	0	0 b	0 c	0 b	0
Isoxaflutole	1,6	6	7,60 b	4,4 b	0	0 b	2 c	2 b	0
Oxyfluorfen	2	10,4	8,80 b	4,4 b	0	0 b	0 c	0 b	0
Flumioxazin	2	10,8	10,00 a	5,4 a	4	12 a	16 a	16 a	0
Sulfentrazone	2,2	9,6	8,80 b	3,8 b	0	9 a	10 b	14 a	4
Testemunha	2,2	5,2	7,20 b	5,4 a	0	0 b	0 c	0 b	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm²), Razão da Área Foliar (cm².g⁻¹ MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie *Hymenaea courbaril*.

Tratamento	Área foliar	Razão da Área Foliar	Relação Raiz Parte Aérea
Indaziflam	613,60	35,210	0,602
Isoxaflutole	498,66	43,722	0,524
Oxyfluorfen	565,68	42,164	0,562
Flumioxazin	656,74	43,262	0,544
Sulfentrazone	551,74	43,386	0,444
Testemunha	404,12	33,514	0,756



Figura 10: Nas plantas de *Hymenaea courbaril* foram observados poucos sintomas de fitotoxicidade. Fonte: Gomes, A. C.

Para a espécie *Pleroma granulosum* (quaresmeira), verificou-se pela análise de fluorescência da clorofila a, aos 7 DAA, com exceção do sulfentrazone, todos os demais tratamentos apresentaram diminuição do desempenho fotossintético (PI_{abs} e PI_{total}) em decorrência do aumento da dissipação de calor (DIo/RC) (Figura 11-A). Nas avaliações realizadas aos 14 e 35 DAA, todos os tratamentos herbicidas, com exceção do isoxaflutole, proporcionaram aumento do desempenho fotossintético do fotossistema I e II (Figura 11-B-C). Aos 90 DAA, plantas que receberam o flumioxazin apresentavam bom desempenho fotossintético, indicando a recuperação das plantas de quaresmeira (Figura 11-D). Todavia nesse momento, plantas que receberam o sulfentrazone promoveram aumento da dissipação de energia em forma de calor enquanto as plantas que receberam o indaziflam ainda demonstravam um investimento no parâmetro de desempenho fotossintético (PI_{abs}), no entanto, com o desempenho total de fotossíntese afetado, indicando que as plantas ainda se encontravam em situação de estresse.

Aos 14 DAA, a espécie *P. granulosum* apresentava sintomas de fitotoxicidade para todos os tratamentos (Figura 12), com destaque para os herbicidas flumioxazin e sulfentrazone que proporcionaram média de 67 e 57% de intoxicação, respectivamente (Tabela 11). Até aos 28 DAA, só ocorreram acréscimos nos valores de fitotoxicidade para todos os tratamentos,

sendo novamente o flumioxazin e sulfentrazone os herbicidas de destaque, proporcionando intoxicações médias de 78 e 84% (Tabela 12). Aos 90 DAA, as plantas de *Pleroma granulosum* apresentavam sintomas de intoxicação causada pelos herbicidas indaziflam e sulfentrazone (Tabela 11). Em relação aos parâmetros de crescimento vegetativo, o sulfentrazone reduziu o incremento em diâmetro, incremento altura, massa seca da parte aérea e de raízes (Tabela 11). O indaziflam também promoveu diminuição do crescimento em relação à testemunha, onde os parâmetros incremento em diâmetro, massa seca da parte aérea e raízes foram significativamente afetados. Após a coleta das espécies, observou-se que o indaziflam, flumioxazin e sulfentrazone promoveram redução da área foliar, em mudas de quaresmeira (Tabela 12).

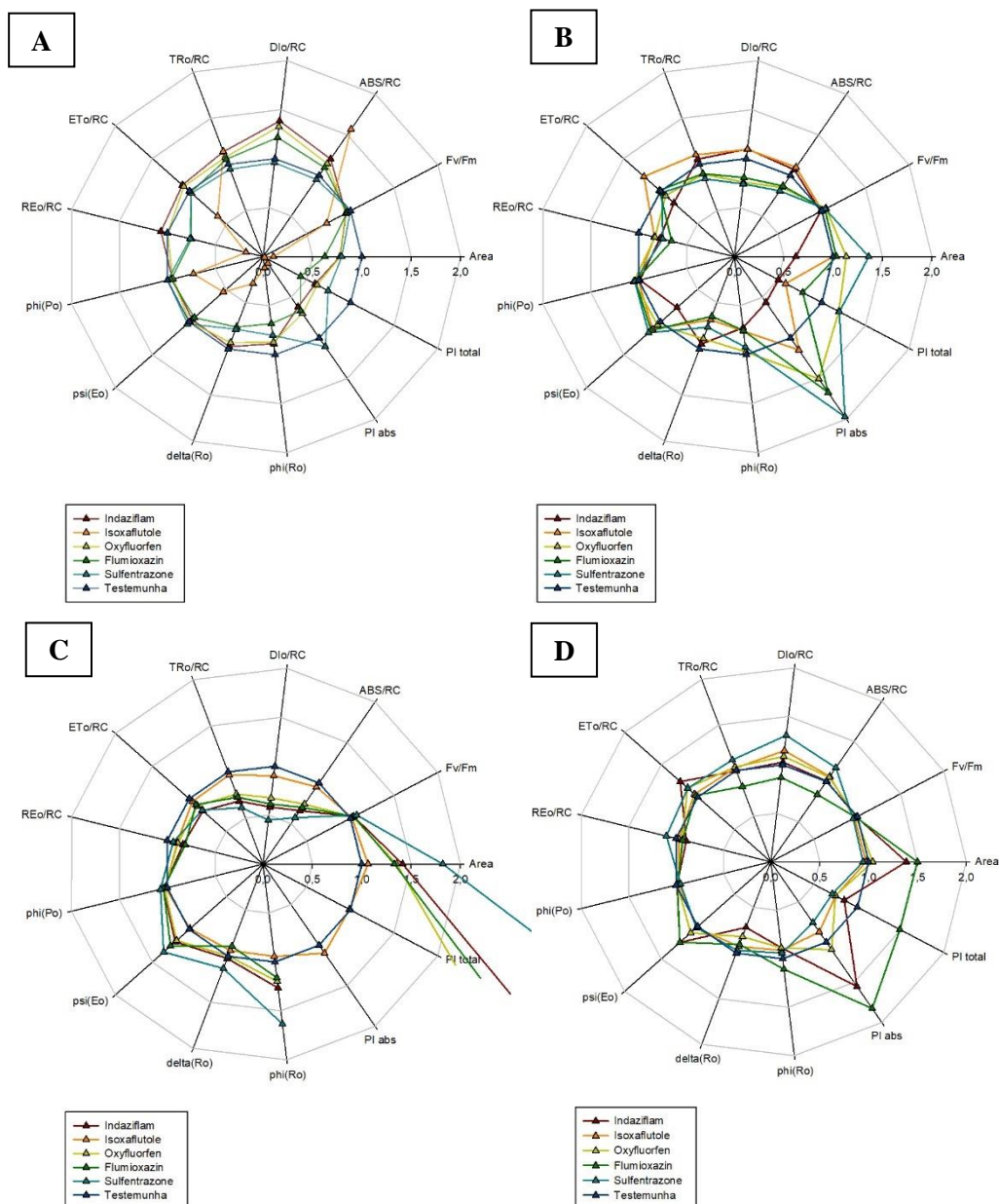


Figura 11: Fluorescência da clorofila α para a espécie *Pleroma granulosum* aos 7, (A), 14, (B), 35, (C) e 90, (D) dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).

Tabela 11: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre a quaresmeira.

<i>Pleroma granulosum</i> – Quaresmeira									
Tratamento	DiâmetroΔ	AlturaΔ	MSPA	MSR	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90 ns
Indaziflam	2,4 b	3 a	5,4 c	2,4 c	0 b	9 b	24 b	32 b	20
Isoxaflutole	5,8 b	11 a	21,4 a	10,4 a	0 b	10 b	26 b	22 b	0
Oxyfluorfen	5,2 a	6,6 a	17,6 a	7,2 b	12 b	20 b	26 b	26 b	0
Flumioxazin	2,2 b	3 a	4,4 c	1,6 c	35 a	67 a	75 a	78 a	8
Sulfentrazone	2,4 b	0 b	4,8 c	1,8 c	37 a	57 a	75 a	84 a	30
Testemunha	4,4 a	5,8 a	12,6 b	7,4 b	0 b	0 b	0 c	0 c	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 12: Medição de índices dos parâmetros de crescimento vegetativo Área Foliar (cm²), Razão da Área Foliar (cm².g⁻¹ MS) e Relação Raíz Parte Aérea para a espécie *Pleroma granulosum*.

Tratamento	Área foliar	Razão da Área Foliar	Relação Raíz Parte Aérea
Indaziflam	271,125 b	29,198	0,444
Isoxaflutole	1203,780 a	37,914	0,480
Oxyfluorfen	959,020 a	37,208	0,432
Flumioxazin	226,740 b	36,188	0,364
Sulfentrazone	293,580 b	74,114	0,514
Testemunha	749,040 a	34,872	0,638

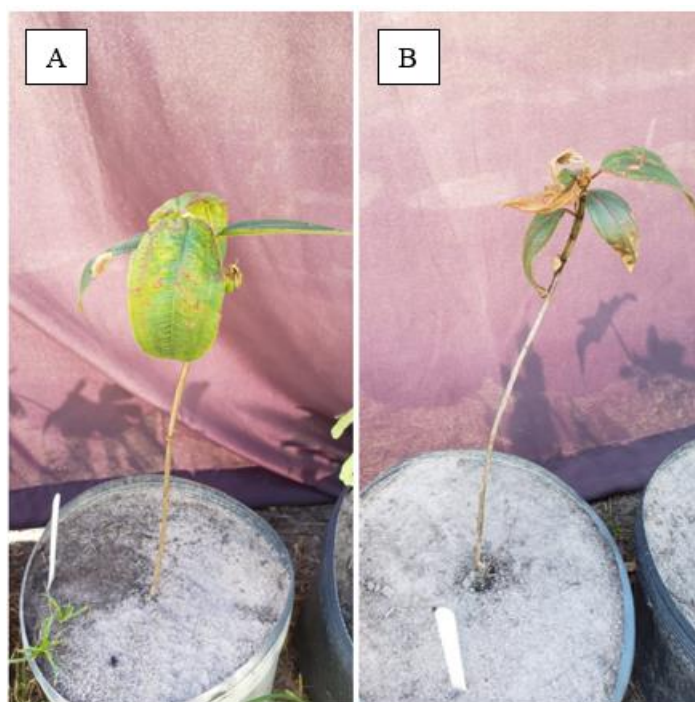


Figura 12: Planta de *Pleroma granulosum* com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida indaziflam aos 90 DAA (A). Planta de quaresmeira apresentando sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfentrazone aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.

Para a espécie *Enterolobium timbouva* (Tamboril), não se verificou diferenças para os parâmetros de massa seca de parte aérea e raízes, bem como para o incremento em diâmetro de coleto e altura de plantas (Tabela 13). Em relação a fitotoxicidade, verificou-se maiores níveis, aos 28 DAA, com um valor de 71 % provocado pelo herbicida flumioxazin (125 g ha^{-1}). Os herbicidas isoxaflutole, oxyfluorfen e sulfentrazone também promoveram valores expressivos de intoxicação aos 28 DAA, com valores de 34, 46 e 28 %, respectivamente. Entretanto, aos 90 DAA não se verificou diferenças na intoxicação das plantas pelos herbicidas, quando comparadas com as testemunhas (Figura 13). Dentre os herbicidas utilizados, o tamboril foi tolerante ao indaziflam, onde durante todo o período de avaliação não foram observados sintomas de fitotoxicidade.

Tabela 13: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre o tamboril.

<i>Enterolobium timbouva</i> – Tamboril									
Tratamento	Fitotoxicidade (%)								
	DiâmetroΔ ns	AlturaΔ ns	MSPA ns	MSR ns	7	14	21	28	90 ns
Indaziflam	5,2	6,2	11,4	5,8	0 c	0 b	0 b	0 c	0
Isoxaflutole	4,8	5,4	9,6	6	9 b	44 a	40 a	34 b	0
Oxyfluorfen	5,4	13,2	11	6,2	20 a	36 a	44 a	46 b	0
Flumioxazin	3,4	9,6	9,2	5	18 a	46 a	66 a	71 a	0
Sulfentrazone	4,8	6,4	9,6	5,8	12 b	18 b	24 b	28 b	0
Testemunha	5,8	12,0	14,8	10,8	0 c	0 b	0 b	0 c	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 13: Planta de *Enterolobium timbouva* com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 28 DAA (A) e sem sintomas de intoxicação aos 90 DAA (B).

Fonte: Gomes, A. C

Na espécie *M. Bimucronata* (Maricá) não se verificou diferenças para os parâmetros de massa seca de parte aérea e raízes, bem como para o incremento em diâmetro de coleto e altura de plantas (Tabela 14). Em relação a fitotoxicidade plantas de *M. bimucronata* apresentaram maiores valores de intoxicação aos 28 DAA para todos os herbicidas, com exceção do indaziflam (Figura 14). Os valores máximos de intoxicação das plantas foram de 34, 48, 30 e 32 % causados pelos herbicidas isoxaflutole, oxyfluorfen, flumioxazin e sulfentrazone, respectivamente (Tabela 14).

Tabela 14: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre o maricá.

<i>Mimosa bimucronata</i> – Maricá									
Tratamento	DiâmetroΔ ns	AlturaΔ ns	MSPA ns	MSR ns	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90 ns
Indaziflam	8,4	10,6	46	22,6	0 b	0 b	0 a	2 b	0
Isoxaflutole	7,2	9	53,2	15	0 b	22 a	30 a	34 a	0
Oxyfluorfen	6,6	6,2	49,8	22	14 a	30 a	36 a	48 a	0
Flumioxazin	8,4	0	47,4	15,8	2 b	24 a	30 a	30 a	0
Sulfentrazone	7,8	0	31,8	15,8	4 b	22 a	28 a	32 a	0
Testemunha	8,6	5	50,8	27,8	0 b	0 b	0 b	0 b	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 14: Planta de *Mimosa bimucronata*: com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 28 DAA (A) e sem sintomas de intoxicação, aos 90 DAA (B).
Fonte: Gomes, A. C.

O *Schizolobium parahyba* (Guapuruvú) em avaliação realizada aos 7 DAA apresentou intoxicação de 46 % causada pelo herbicida oxyfluorfen, e 22% causada pelos herbicidas flumioxazin e sulfentrazone (Tabela 15). Nas plantas que receberam os herbicidas indaziflam e isoxaflutole não se verificou, sintomas de intoxicação, não diferindo os valores da testemunha sem herbicidas. No entanto, aos 28 DAA, foram observados valores altos de fitotoxicidade nas plantas que receberam os herbicidas flumioxazin, oxyfluorfen e isoxaflutole (Figura 15). Nesse mesmo período, as plantas apresentavam menores valores de intoxicação quando submetidas aos herbicidas indaziflam e sulfentrazone. Em avaliação realizada aos 90 DAA não se verificou sintomas de intoxicação para os herbicidas avaliados, todavia, isoxaflutole, oxyfluorfen e flumioxazin promoveram redução do crescimento radicular observado pela massa seca de raízes (Tabela 15).

Tabela 15: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre o guapuruvú.

<i>Schizolobium parahyba</i> – Guapuruvú									
Tratamento	Diâmetro ns	Altura ns	MSPA ns	MSR	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90 ns
Indaziflam	6,2	10,4	23	10,6 a	0 c	20 b	16 c	16 d	0
Isoxaflutole	4	4,2	15,8	6,8 b	0 c	0 c	28 b	54 b	0
Oxyfluorfen	4	9	13,6	4 b	47 a	68 a	74 a	68 b	0
Flumioxazin	3,6	5,6	11,8	5,2 b	22 b	56 a	70 a	82 a	0
Sulfentrazone	3,6	7	18,6	10,6 a	22 b	30 b	38 b	38 c	0
Testemunha	3,6	6,2	13,8	9 a	0 c	0 c	0 c	0 d	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

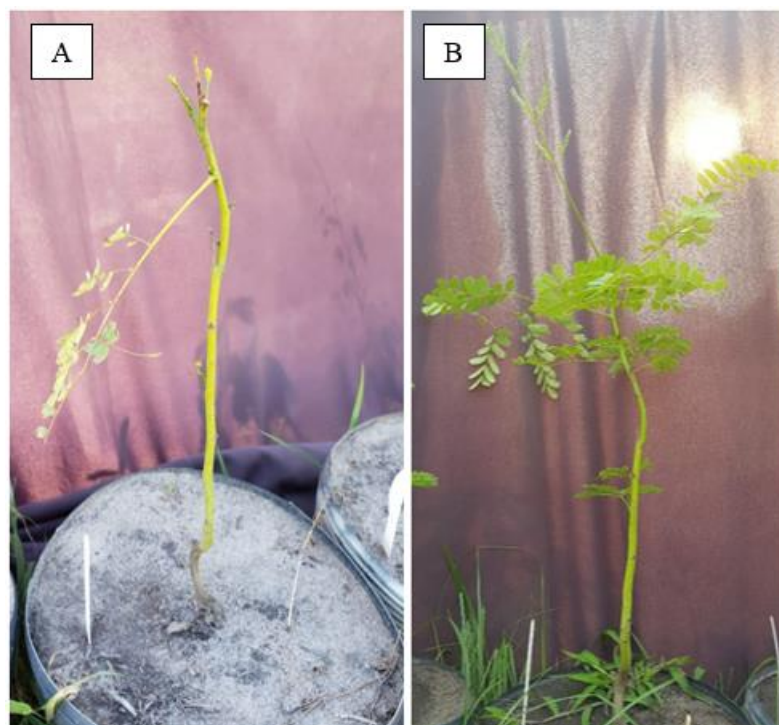


Figura 15: Planta de *Schizolobium parahyba* aos 28 DAA apresentando sintomas de intoxicação pelo herbicida flumioxazin (A). e planta recuperada da intoxicação do flumioxazin aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.

Para *Vitex triflora* (Pau viola), os valores de incremento em altura, em diâmetro, massa seca da parte aérea e massa seca de raízes foram afetados significativamente pelo herbicida sulfentrazone (Figura 16). A massa seca da parte aérea também foi afetada pelos herbicidas indaziflam, isoflutole, flumioxazin e sulfentrazone. Essa espécie, no geral, apresentou alta sensibilidade aos herbicidas inibidores da protox, (flumioxazin e sulfentrazone), com valores de fitotoxicidade altos observados desde o início do período de avaliação até os 28 DAA, com 88 e 95 % de intoxicação respectivamente (Tabela 16). A maior tolerância foi observada ao herbicida indaziflam, onde não se verificou sintomas de intoxicação, durante todo o período avaliado. Já os herbicidas isoxaflutole e oxyfluorfen proporcionaram valores intermediários, com decréscimo de fitotoxicidade observados a partir dos 21 DAA. No entanto, mesmo diante de valores altos de intoxicação proporcionadas pelos herbicidas flumioxazin e sulfentrazone, aos 90 DAA as plantas de pau viola apresentavam total recuperação do crescimento vegetativo para todos os herbicidas avaliados.

Tabela 16: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre o pau viola.

<i>Vitex triflora</i> - Pau Viola									
Tratamento	DiâmetroΔ	AlturaΔ	MSPA	MSR	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90
Indaziflam	5,6 a	1 b	13 b	11 a	0 c	0 d	0 c	0 d	0 a
Isoxaflutole	5,6 a	9 a	14,2 b	11,6 a	0 c	32 c	46 b	42 b	0 a
Oxyfluorfen	6,6 a	1 b	18,2 a	14,4 a	19 b	35 c	33 b	14 c	0 a
Flumioxazin	5,8 a	1 a	15 b	13,2 a	30 b	62 b	87 a	88 a	0 a
Sulfentrazone	3,6 b	0 b	8,4 c	4,6 b	92 a	95 a	95 a	95 a	0 a
Testemunha	5,6 a	7,7 a	11,4 c	14,4 a	0 c	0 d	0 c	0 d	0 a

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Figura 16: Planta de *Vitex triflora*: com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida sulfentrazone aos 28 DAA (A). sem sintomas de intoxicação, aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.

Para a espécie *Bixa orellana* (Urucu), os herbicidas indaziflam, isoxaflutole e flumioxazin afetaram o incremento em diâmetro, enquanto o herbicida flumioxazin afetou o incremento em altura e a massa seca de raízes (Tabela 17). O urucu apresentou sintomas de intoxicação mais elevados aos 21 DAA para o herbicida flumioxazin, com média de 81%, seguido pelo herbicida sulfentrazone com uma média de 60% aos 28 DAA (Tabela 17). Para os demais herbicidas, o isoxaflutole causou uma média de fitotoxicidade de 48% aos 28 DAA, enquanto as médias do indaziflam e oxyfluorfen não ultrapassaram os 30% durante todo o período de avaliação. Ao final do experimento, no entanto, não se verificou sintomas de intoxicação para o urucu, com as plantas que receberam o flumioxazin como tratamento, apresentando bom rebrote (Figura 17).

Tabela 17: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre o urucu.

<i>Bixa orellana</i> – Urucu									
Tratamento	DiâmetroΔ	AlturaΔ	MSPA ns	MSR	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90
Indaziflam	6,2 b	8,4 a	12,2	8 a	0 b	0 d	4 d	4 e	0 b
Isoxaflutole	6,4 b	8,6 a	13,4	7,2 a	0 b	0 d	38 c	48 c	4 a
Oxyfluorfen	7,8 a	9,8 a	15,2	9 a	29 a	29 c	29 c	28 d	0 b
Flumioxazin	4,6 b	2,4 b	9	3,8 b	41 a	78 a	81 a	79 a	0 b
Sulfentrazone	7,4 a	5,8 a	12,4	7 a	30 a	50 b	58 b	60 b	0 b
Testemunha	5,4 b	7 a	10,8	9 a	0 b	0 d	0 d	0 e	0 b

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

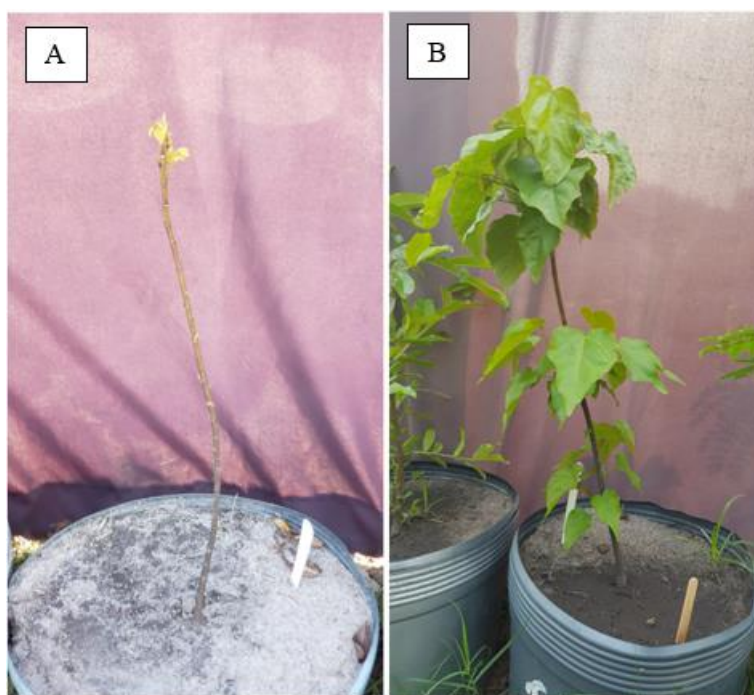


Figura 17: Planta de *Bixa orellana*: com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 28 DAA (A) e sem sintomas de intoxicação, aos 90 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.

A espécie embaúba branca apresentou pouca sensibilidade aos herbicidas pré-emergentes avaliados (Figura 18). Para os índices de fitotoxicidade, os maiores valores foram observados nas plantas submetidas ao oxyfluorfen, flumioxazin e sulfentrazone, que proporcionaram valores médios de 46, 46 e 32 %, respectivamente, em avaliação realizada aos 7 DAA dos herbicidas (Tabela 18). Esses índices regrediram aos 14 DAA para 22, 42 e 26 %, respectivamente, para o oxyfluorfen, flumioxazin e sulfentrazone. A partir desta data, os índices de fitotoxicidade reduziram gradativamente para os herbicidas oxyfluorfen, flumioxazin e sulfentrazone até não ser mais constatado diferenças com a testemunha, aos 90 DAA. Os herbicidas indaziflam e isoxaflutole proporcionaram maiores intoxicações observadas a partir de 14 DAA até 28 DAA, com valores de fitotoxicidade de 2 e 16 %, respectivamente. Aos 90 DAA não se verificou intoxicação nas plantas de *Cecropia pachystachya* tratadas com esses herbicidas, não diferindo estatisticamente da testemunha sem aplicação de herbicidas.

Tabela 18: Valores médios de incremento em diâmetro (mm), incremento em altura (cm), massa seca da parte aérea (g) e raízes (g), e valores de fitotoxicidade (%) aos 7, 14, 21, 28, e 90 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) sobre a embaúba branca.

<i>Cecropia pachystachya</i> – Embaúba Branca									
Tratamento	DiâmetroΔns	AlturaΔ	MSPA ns	MSR	Fitotoxicidade (%)				
					7	14	21	28	90
Indaziflam	8,4	15,0 a	12,2	8 a	0 b	0 c	2 b	0 b	0
Isoxaflutole	10,4	17,2 a	13,4	7 a	0 b	10 c	16 a	16 a	0
Oxyfluorfen	8,6	16,6 a	15,2	9 a	46 a	22 b	15 a	8 ab	0
Flumioxazin	9,0	18,0 a	9	3,8 b	46 a	41 a	29 a	8 ab	0
Sulfentrazone	9,0	18,0 a	12,4	7, a	32 a	26 b	20 a	12 a	0
Testemunha	8,6	11,6 b	10,8	9 a	0 b	0 c	0 b	0 b	0

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Ns: Médias não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

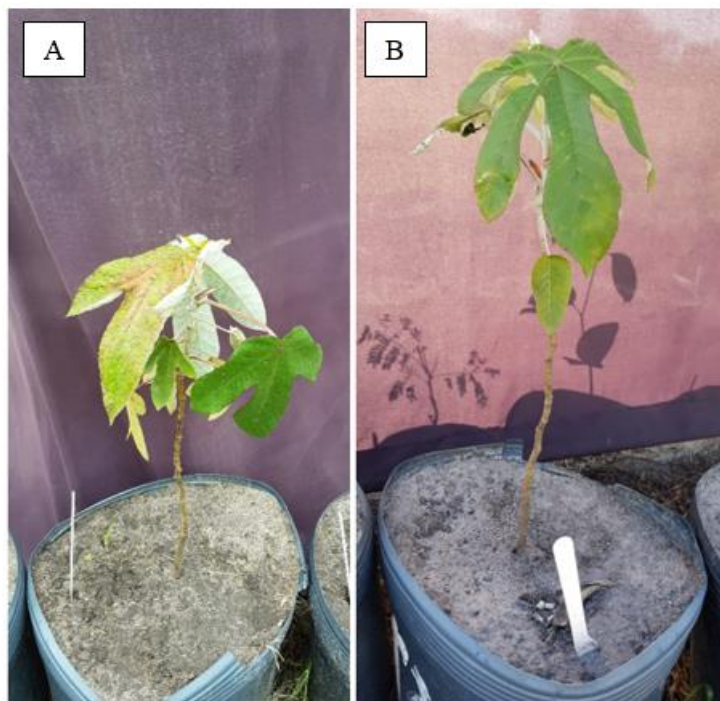


Figura 18: Planta de *Cecropia pachystachya*: com sintomas de fitotoxicidade ao herbicida flumioxazin aos 7 DAA (A). sem sintomas de intoxicação, aos 28 DAA (B). Fonte: Gomes, A. C.

4 Discussão

O aumento do desempenho fotossintético observado para as espécies nativas em decorrência da aplicação de herbicidas, se correlaciona como uma alternativa da planta, para investir na produção de fotoassimilados, e assim, promover a recuperação da condição de estresse gerada (LEAL et al., 2020). Tal comportamento foi observado para a espécie *Cecropia hololeuca* (Embaúba Prata), aos 14 DAA, devido a aplicação do herbicida sulfentrazone. Todavia, dentre as espécies avaliadas, a *C. hololeuca* apresentou rápida recuperação dos parâmetros fisiológicos em relação ao estresse gerado pela aplicação dos herbicidas pré-emergentes. Tal recuperação pode estar associada à sua característica pioneira, pois espécies desse estágio sucessional, tendem a uma maior tolerância a situações de estresse (KRUSE et al., 2001; TANAKA & VIEIRA, 2006; CARNEVALI et al., 2016). Em contrapartida, o aumento tardio do desempenho fotossintético para a espécie *Hymenaea courbaril* (Jatobá) aos 90 DAA, pode estar relacionado com o desenvolvimento fisiológico mais lento dessa espécie, devido sua característica sucessional clímax, de crescimento lento (MARTINOTTO et al.,

2012). No entanto, ambas as espécies foram consideradas tolerantes aos herbicidas pré-emergentes avaliados, com baixas médias de fitotoxicidade e pouca interferência no crescimento vegetativo.

Em determinado momento, todas as espécies nativas avaliadas apresentaram aumento da dissipação de calor (D_{Io}/RC), aumento do tamanho do complexo antena (ABS/RC) e aumento de energia capturada pelo centro de reação (T_{ro}/RC), com destaque para *Lafoensia pacari* (Dedaleira) aos 90 DAA. Segundo Szabo et al. (2005), o aumento desse parâmetro pode estar relacionado a uma resposta para evitar que o excesso de energia acumulado no centro de reação não cause a formação de espécie reativas de oxigênio. O aumento do complexo antena tem possível relação com a necessidade da planta em absorver mais energia, uma vez que grande parte da mesma está sendo dissipada em forma de calor devido à condição de estresse (GOMES et al., 2012; SOUSA et al., 2014). Segundo Pinho et al. (2012), condições onde o rendimento quântico máximo do FSII $\phi(P_o)$, e parâmetros de desempenho fotossintéticos sejam afetados, se caracterizam como fotoinibição. Isso decorre do estresse gerado pela aplicação dos herbicidas, onde a planta não consegue direcionar toda energia provida da irradiância para as etapas seguintes da fotossíntese, fazendo com que boa parte dessa energia seja dissipada em forma de calor e consequentemente haja redução na fotossíntese (GONÇALVES et al., 2010).

Todas as espécies também apresentaram em algum momento uma redução expressiva do desempenho fotossintético (PI_{abs} e PI_{total}) e aumento da dissipação de calor (D_{Io}/RC), em decorrência da aplicação do herbicida isoxaflutole. Por ser um herbicida inibidor da síntese de carotenoides, o isoxaflutole está diretamente envolvido com a fotossíntese, pois os carotenoides são ferramentas essenciais na dissipação do excesso de energia luminosa através do ciclo das xantofilas (TAIZ & ZEIGER, 2021). Uma vez que o excesso de energia luminosa não é dissipado, ocorre-se danos no aparato fotossintético em detrimento do estresse oxidativo gerado (PALLET et al., 1998; AUBERT & PALLET, 2000; KRUSE et al., 2001; SMITH et al., 2019; TAIZ & ZEIGER, 2021).

Dentre as espécies avaliadas *Lafoensia pacari* (dedaleira) e *Pleroma granulosum* (quaresmeira), tiveram a área foliar (AF) afetada pela aplicação dos herbicidas. No entanto, a dedaleira apresentou boa recuperação ao final do experimento e por isso foi considerada tolerante aos herbicidas pré-emergentes avaliados. Todavia, a quaresmeira foi a espécie menos tolerante entre as demais, apresentando interferência em todos os parâmetros de crescimento vegetativo avaliados assim como valores expressivos de fitotoxicidade observados aos 90

DAA. Em pesquisa realizada por Brancalion et al. (2009), *Pleroma granulosum* foi tolerante aos herbicidas setoxidim, bentazon e isoxaflutole, corroborando com os dados do presente estudo, a seletividade do isoxaflutole para a espécie. Todavia, pode-se observar sensibilidade da espécie quando cultivada em substrato com presença de atrazina, onde diversos parâmetros de crescimento vegetativo foram afetados assim como, a absorção de macronutrientes (FIORE et al., 2016). Todavia, é importante ressaltar que as condições ambientais do presente estudo não favorecem o desenvolvimento de *Pleroma granulosum*, que tem seu melhor desenvolvimento em áreas de clima mais amenos, como por exemplo tropical de altitude (FREITAS et al., 2017). Em vista desses resultados, conclui-se que nas condições ambientais do presente estudo, os herbicidas indaziflam e sulfentrazone não devem ser indicados para uso em áreas de restauração florestal com presença dessa espécie.

Diante da observação dos resultados, para o indaziflam verificou boa tolerância, no geral, por parte das espécies nativas avaliadas. Semelhantes resultados podem ser considerados para as culturas do eucalipto e pinus, onde a aplicação do herbicida em pré-plantio das mudas florestais não afetou o desenvolvimento das mesmas (KAAPRO & HALL, 2011). Resultados positivos também são encontrados para produção de oliva, mirtilo e amora (GREY et al., 2017; GREY et al., 2021). Tais dados corroboram com o presente estudo, podendo ser observado boa seletividade por parte dessa molécula.

As espécies nativas também apresentaram boa tolerância ao herbicida isoxaflutole. Esse herbicida também provocou baixos valores de fitotoxicidade em mudas jovens de *Coffea arabica* (NASCIMENTO et al., 2019). No entanto, essa molécula afetou significativamente a germinação de sementes de espécies nativas da Mata Atlântica e Cerrado (SOUZA & ENGEL, 2017; MARCHI et al., 2018). Segundo Simmons & Kells (2003), a sensibilidade ou tolerância de uma espécie ao isoxaflutole é uma característica hereditária associada ao gene nuclear de cada espécie.

Dentro da análise dos herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), as espécies foram mais tolerantes ao oxyfluorfen e mais sensíveis ao flumioxazin e sulfentrazone. O flumioxazin promoveu valores de intoxicação expressivos em mudas jovens de *Coffea arabica* (NASCIMENTO et al., 2020), corroborando com os presentes dados, onde o oxyfluorfen causou baixos danos e o flumioxazin altos danos para algumas espécies. Tanto o oxyfluorfen e sulfentrazone proporcionaram baixos índices de fitotoxicidade para a cultura do eucalipto (CARBONARI et al., 2011; ARAUJO et al., 2021). Apesar das espécies nativas da mata atlântica em sua maioria, terem apresentado boa recuperação aos herbicidas flumioxazin e

sulfentrazone, ressalta-se atenção na utilização dessas moléculas devido aos altos valores de intoxicação e redução do crescimento vegetativo para algumas espécies. Esses fatores, associados a algum estresse climático podem ocasionar a mortalidade de mudas e consequentemente afetar o sucesso do empreendimento de restauração florestal.

Diante dos resultados é possível observar que houve diferentes respostas das espécies florestais em relação à aplicação dos herbicidas pré-emergentes testados. Para as espécies *Cecropia pachystachya*, *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata*, *Enterolobium timbouva* e *Bixa orellana*, o uso de herbicidas não ocasionou alterações no incremento em diâmetro pelas plantas ao longo do período avaliado. Para a variável incremento em altura, os herbicidas não influenciaram o crescimento das plantas de *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata* e *Enterolobium timbouva*. No entanto, grande parte das espécies nativas se mostraram tolerantes aos herbicidas pré-emergentes avaliados.

Enterolobium timbouva (tamboril) é uma espécie arbórea pioneira que ocorre desde o estado do Pará até ao Rio Grande do Sul, tendo como característica o rápido crescimento em áreas de capoeira com estágios mais avançados de sucessão (ARAÚJO & SOBRINHO, 2011). Em estudo realizado por Monquero et al. (2011), analisando a seletividade de herbicidas pré-emergentes, o sulfentrazone causou valores de fitotoxicidade de 60 % na dose de 400 g ha⁻¹, não proporcionando alterações na biomassa seca para as doses de 100 e 200 g ha⁻¹. Esses dados corroboram com o presente estudo, onde o *Enterolobium timbouva* apresentou tolerância ao sulfentrazone na dose de 500 g ha⁻¹. As espécies da família fabaceae avaliadas nesse experimento, apresentaram boa tolerância aos herbicidas testados. Corroborando com os presentes dados, a espécie *S. parahyba* (guapuruvú) não teve o incremento do diâmetro reduzido quando as plantas foram cultivadas em solos com aplicação prévia dos herbicidas atrazina e 2,4-D (FIORE et al., 2016).

De acordo com a observação dos valores de fitotoxicidade e crescimento vegetativo, *Vitex triflora* (pau viola) não foi tolerante ao herbicida sulfentrazone. Para as espécies, *Bixa orellana* e *Vitex triflora*, os herbicidas flumioxazin e sulfentrazone foram que promoveram maiores de intoxicações nas plantas. Ambas as moléculas têm como mecanismo de ação a inibição da enzima protoporfirogênio-oxidase (PROTOX), e os herbicidas são caracterizados como de contato, ou seja, não translocam na planta (THEODORIDIS et al., 2000; TREZZI et al., 2011; GRIFFIN et al., 2017). Grande é a importância do conhecimento da seletividade dos herbicidas sobre as espécies de interesse de cultivo, para que a utilização dos mesmos não interfira no crescimento e rendimentos dos empreendimentos (CHRISTOFFOLETI &

ARANDA, 2001; KUDSK & STREIBIG, 2003; BRANCALION et al., 2009). A associação do flumioxazin com sulfentrazone, foi responsável por elevados valores de fitotoxicidade na cultura do eucalipto, no entanto, quando aplicados de forma isolada foram responsáveis apenas por leves injúrias (TIBURCIO et al., 2012; CARBONARI et al., 2019).

O herbicida indaziflam, tem seu mecanismo de ação baseado na inibição da incorporação da celulose na parede celular da planta (BRABHAM et al., 2014; GUERRA et al., 2014; SEBASTIAN et al., 2016; CLARK et al., 2019). Essa molécula, vem apresentando boa seletividade para as espécies nativas da Mata Atlântica, assim como para as culturas de cana-de-açúcar, café e citrus, onde a aplicação do herbicida, na dose recomendada de bula, não foi responsável por elevados valores de fitotoxicidade e interferência no crescimento vegetal das culturas (BLANCO et al., 2015; GUIRARDELLO et al., 2021).

Dentre os herbicidas avaliados, o oxyfluorfen, indaziflam e isoxaflutole foram os mais seletivos para as seis espécies avaliadas, apresentando menores valores de intoxicação e menor interferência no crescimento. Em contrapartida, o flumioxazin e sulfentrazone, causaram maiores interferências no crescimento vegetativo de algumas espécies e maiores valores fitotoxicidade, tendo, no entanto, a maioria das espécies avaliadas tolerância a esses dois herbicidas.

Segundo Brancalion et al. (2009), os valores aceitáveis de fitotoxicidade são de até 15%, noventa dias após a aplicação dos herbicidas, se a aplicação dos mesmos causar qualquer redução de massa seca em relação à testemunha, tal herbicida não deve ser indicado para a espécie florestal nativa. Tais foram os casos das espécies, guapuruvú, pau viola e urucu que apresentaram valores médios de massa seca, inferior a testemunha para alguns herbicidas.

No entanto, pequenas reduções de porte de plantas podem ser aceitáveis, devido a utilização de herbicidas, tendo em vista o menor custo para a implantação e manutenção do povoamento florestal através da utilização do método químico (SANTOS et al., 2020). Além do mais, espécies nativas apresentam um crescimento inicial mais lento, quando comparado a outras espécies vegetais, portanto, faz-se necessário a realização de outros ensaios, compreendendo um maior tempo de avaliação.

Tabela 19: Tolerância das espécies nativas aos herbicidas pré-emergentes.

Nome Científico	Indaziflam	Isoxaflutole	Oxyfluorfen	Flumioxazin	Sulfentrazone
<i>Cecropia hololeuca</i> ¹	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Hymenaea courbari</i> ²	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Lafoensia pecari</i> ³	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Pleroma granulosum</i> ⁴	Não tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Não tolerante
<i>Cecropia pachystachya</i> ⁵	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Schizolobium parahyba</i> ⁶	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Mimosa bimucronata</i> ⁷	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Vitex triflora</i> ⁸	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Não tolerante
<i>Enterolobium timbouva</i> ⁹	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
<i>Bixa orellana</i> ¹⁰	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Não tolerante	Tolerante

¹ Embaúba Prata; ² Jatobá; ³ Dedaleira; ⁴ Quaresmeira; ⁵ Embaúba Branca; ⁶ Guapuruvú; ⁷ Maricá; ⁸ Pau Viola; ⁹ Tamboril; ¹⁰ Urucu.

5 Conclusão

As espécies florestais avaliadas foram mais sensíveis aos herbicidas pré-emergentes oxyfluorfen, indaziflam e isoxaflutole.

Os herbicidas pré-emergentes flumioxazin e sulfentrazone promoveram maiores interferências no crescimento vegetativo e maiores valores fitotoxicidade.

No geral, as espécies nativas da Mata Atlântica apresentaram boa tolerância aos herbicidas pré-emergentes avaliados.

6 Referências bibliográficas

- AUBERT, S., & PALLETT, K. E. Combined use of ¹³C-and ¹⁹F-NMR to analyse the mode of action and the metabolism of the herbicide isoxaflutole. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 38, n. 6, p. 517-523, 2000.
- ARAÚJO, A. C., JOSÉ, A. R. S., SOARES, M. R. S., MOREIRA, E. D. S., LIMA, R. D. S., & PRADO, T. R. Eficiência e toxicidade do oxyfluorfen em água de irrigação na implantação a campo do gênero Eucalyptus. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 634-657, 2021.
- ARAÚJO, A. P. D.; & PAIVA SOBRINHO, S. D. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 581-588, 2011.
- AZEVEDO, A. D.; CAMARA, R.; FRANCELINO, M. R.; PEREIRA, M. G.; & LELES, P. S. S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 1988.
- BLANCO, F. M. G.; RAMOS, Y. G.; SCARSO, M. F.; & JORGE, L. A. C. Determining the selectivity of herbicides and assessing their effect on plant roots-a case study with indaziflam and glyphosate herbicides. **InTech: London, UK**, p. 275-297, 2015.
- BRABHAM, C.; LEI, L., GU, Y.; STORK, J.; BARRETT, M.; & DEBOLT, S. Indaziflam herbicidal action: a potent cellulose biosynthesis inhibitor. **Plant physiology**, v. 166, n. 3, p. 1177-1185, 2014.
- BRANCALION, P. H.; CARDOZO, I. V.; CAMATTA, A.; ARONSON, J., & RODRIGUES, R. R. Cultural ecosystem services and popular perceptions of the benefits of an ecological restoration project in the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration ecology**, v. 22, n. 1, p. 65-71, 2014.

BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I.; MACHADO, R. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J., & RODRIGUES, R. R. Seletividade dos herbicidas setoxidim, isoxaflutol e bentazon a espécies arbóreas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 251-257, 2009.

CARBONARI, C. A.; KRENCHINSKI, F. H.; GOMES, G. L. G. C.; SIMÕES, P. S.; JUNIOR, G. J. P.; & VELINI, E. D. Dynamics in the soil, weed control and selectivity of sulfentrazone for eucalyptus. **SCIENTIA FORESTALIS**, v. 48, n. 126, 2020.

CARBONARI, C. A., VELINI, E. D., GOMES, G. L. G. C., TAKAHASHI, E. N., & ARALDI, R. Seletividade e absorção radicular do sulfentrazone em clones de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 30, n. 1, p. 147-153, 2012.

CARNEVALI, N. H.; SANTIAGO, E. F.; DE MENEZES DALOSO, D.; DE OLIVEIRA CARNEVALI, T.; & DE OLIVEIRA, M. T. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas implantadas em pastagem degradada. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2016.

CLARK, S. L.; SEBASTIAN, D. J.; NISSEN, S. J.; & SEBASTIAN, J. R. Effect of indaziflam on native species in natural areas and rangeland. **Invasive Plant Science and Management**, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2019.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; & ARANDA, A. N. Seletividade de herbicidas a cinco tipos de gramas. **Planta Daninha**, v. 19, p. 273-278, 2001.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; DA ROCHA, C. F. D.; FREITAS, A. F. N.; DA ROCHA PESS, T. C.; RIOS, I. G.; & ANGRA DOS REIS, R. Bromélias da Ilha Grande.

COSTA, D. P. D.; & SANTOS, N. D. D. Conservação de hepáticas na Mata Atlântica do sudeste do Brasil: uma análise regional no Estado do Rio de Janeiro. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 4, p. 913-922, 2009.

DAN, H. A.; DAN, L. G. D. M.; BARROSO, A. L. D. L.; PROCÓPIO, S. O.; OLIVEIRA JR, R. S.; ASSIS, R. L.; & FELDKIRCHER, C. Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milheto cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, v. 29, p.

437-445, 2011.

DEAN, WARREN. With broadax and firebrand: the destruction of the Brazilian Atlantic Forest. **Univof California Press**, 1997.

DIAS, M. M. M.; DA SILVA SANTANA, J. E.; LELES, P. S. S.; DE RESENDE, A. S.; & RIBEIRO, J. G. Coroamento com papelão para controle de braquiária na formação de povoamento para restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, 2019.

IORE, R. D. A., SANTOS, J. B. D., FERREIRA, E. A., CABRAL, C. M., & PEREIRA, I. M. CRESCIMENTO E ANÁLISE NUTRICIONAL DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM SUBSTRATO CONTAMINADO POR HERBICIDAS LIXIVIÁVEIS. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 585-594, 2016.

FLORIDO, F. G.; REGITANO, J. B.; ANDRADE, P. A.; ANDREOTE, F. D.; & BRANCALION, P. H. A comprehensive experimental assessment of glyphosate ecological impacts in riparian forest restoration. **Ecological Applications**, v. 32, n. 1, p. e02472, 2022.

FREITAS, K.; TEIXEIRA, W.; FAGAN, E.; & SOARES, J. Adaptação de Tibouchina granulosa submetida à aplicação de Alumínio. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

GAZOLA, T.; GOMES, D. M.; BELAPART, D.; DIAS, M. F.; CARBONARI, C. A.; & VELINI, E. D. Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop. **Revista Ceres**, v. 68, p. 219-229, 2021.

GHIRARDELLO, G. A.; ARAÚJO, L. D. S.; BACCIN, L. C.; DOTTA, M. A.; SOUZA, R. O.; SILVA, A. F. M.; & VICTORIA FILHO, R. Selectivity index of indaziflam to sugarcane cv. IACSP95-5000 in two soil textures. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 74, n. 2, p. 9531-9539, 2021.

GOMES, M. T. G., DA LUZ, A. C., DOS SANTOS, M. R., BATITUCCI, M. D. C. P., SILVA, D. M., & FALQUETO, A. R. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP

chlorophyll a fluorescence transient. **Scientia horticulturae**, v. 142, p. 49-56, 2012.

GONÇALVES, J. F. D. C., SILVA, C. E., GUIMARÃES, D. G., & BERNARDES, R. S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta amazônica**, v. 40, p. 89-98, 2010.

GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; & TAKANO, H. K. Sensibility of plant species to herbicides aminocyclopyrachlor and indaziflam. **Planta Daninha**, v. 32, n. 3, p. 609-617, 2014.

GUIDOTTI, V.; FREITAS, F. L. M.; SPAROVEK, G.; PINTO, L. F. G. P.; HAMAMURA, C.; CARVALHO, T.; CERIGNONI, F. Números detalhados do novo código florestal e suas implicações para os PRAs. **Technical Report**, IMAFLORA, 2017.

GREY, T. L., HURDLE, N. L., RUCKER, K., & BASINGER, N. T. Blueberry and blackberry are tolerant to repeated indaziflam applications. **Weed Technology**, v. 35, n. 4, p. 560-564, 2021.

GREY, T. L., RUCKER, K., WEBSTER, T. M., & LUO, X. High-density plantings of olive trees are tolerant to repeated applications of indaziflam. **Weed Science**, v. 64, n. 4, p. 766-771, 2017.

GRIFFIN, J. L.; BOUDREAUX, J. M.; & MILLER, D. K. Herbicides as harvest aids. **Weed Science**, v. 58, n. 3, p. 355-358, 2010.

JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; & TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New phytologist**, v.204, n. 3, p. 459-473, 2014.

KAAPRO, J., & HALL, J. Indaziflam—a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. In: **23 rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference**. 2012. p. 224.

KUDSK, P.; STREIBIG, J. C. Herbicides—a two-edged sword. **Weed Research**, v. 43, n. 2, p. 90-102, 2003.

KRAUSE, G. H., KOROLEVA, O. Y., DALLING, J. W., & WINTER, K. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, n. 12, p. 1345-1352, 2001.

LEAL, J. F. L.; SILVA, V. F. V.; DOS SANTOS SOUZA, A.; LANGARO, A. C.; SAMPAIO, M. P.; PEREIRA, C. V. L.; & DE PINHO, C. F. Leaching potential of the herbicide mixture 2, 4-D+ picloram. **Científica**, v. 48, n. 2, p. 133-138, 2020.

LELES, P. S. S.; MACHADO, A. F. L.; SILVA, A. P.; SANTOS, F. A. G. Uso de herbicidas na restauração florestal. In: RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S.; Controle de plantas daninhas em restauração florestal. **Embrapa**: Brasília, DF, 2017, p. 45-61.

MARCHI, S. R., MARQUES, R. F., DOS SANTOS ARAÚJO, P. P., MARQUES, A. S., & DE SOUZA, R. M. Ação de herbicidas pré-emergentes no estabelecimento inicial de plântulas de espécies nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 4, p. 612-1-9), 2018.

MARTINOTTO, F.; MARTINOTTO, C.; COELHO, M. D. F. B.; AZEVEDO, R. A. B.; & ALBUQUERQUE, M. C. D. F. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas do Cerrado em consórcio com mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 22-29, 2012.

MINOGUE, P. J.; OSIECKA, A.; & LAUER, D. K. Selective herbicides for establishment of *Eucalyptus benthamii* plantations. **New Forests**, v. 49, n. 4, p. 529-550, 2018.

MONQUERO, P. A.; PENHA, A. S.; ORZARI, I.; HIRATA, A. C. S. Herbicides selectivity on seedlings of native species *Acacia polyphylla*, *Enterolobium contortisiliquum* (Fabaceae), *Ceiba speciosa* and *Luehea divaricata* (Malvaceae). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 159-168, 2011.

NASCIMENTO, J. L. M., PEREIRA, G. A. M., ADRIANO, R. C., PUCCI, L. F., JÚNIOR, L. H. B., & FERREIRA, L. R. Tolerância de plantas jovens de café a herbicidas aplicados isoladamente ou em mistura com o fertilizante fertiactyl. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 4, p. 681-1-8), 2020.

NETO, A. C. A.; SÃO JOSÉ, A. R.; DE SOUZA MOREIRA, E.; PRADO, T. R.; SOARES, M. R. S.; & DA SILVA LIMA, R. Toxicity of pre-emergent herbicides applied via irrigation water in eucalyptus plantation. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 1031-1040, 2019.

NISSEN, S.; STERLING, T. M.; & NAMUTH, D. Root absorption and xylem translocation. 2019. Disponível em: < <https://digitalcommons.unl.edu/passel/107/>> .

NUNES, A. L.; LORENSET, J.; GUBIANI, J. E.; & SANTOS, F. M. A multy-year study reveals the importance of residual herbicides on weed control in glyphosate-resistant soybean. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

PINTO, D. G.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; SILVA, D. M.; SIQUEIRA, P. R.; CAO, J. R.; & ZANETTI, L. V. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 360-367, 2012.

RESENDE, A. S; LELES, P. S. S.; Controle de plantas daninhas em restauração florestal. **Embrapa**: Brasília, DF, 2017.

RODRIGUES, R. R.; LIMA, R. A.; GANDOLFI, S.; & NAVE, A. G. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

SAMTANI, J. B., WEBER, J. B., & FENNIMORE, S. A. Tolerance of strawberry cultivars to oxyfluorfen and flumioxazin herbicides. **HortScience**, v. 47, n. 7, p. 848-851, 2012.

SANTANA, J. E. D. S.; LELES, P. S. D. S.; RESENDE, A. S. D.; MACHADO, A. F. L.; RIBEIRO, J. G.; & GOMES, R. F. Grasses Control Strategies in Setting Restoration Stand of the Atlantic Forest. **Floresta e Ambiente**, v. 27, 2020.

SANTOS, F. A. M. D.; LELES, P. S. D. S.; RESENDE, A. D. S.; NASCIMENTO, D. F. D.; & SANTOS, G. R. D. Control strategies of urochloa spp. in the formation of forest restoration. **Ciência Florestal**, V. 30, P. 29-42, 2020.

SANTOS, S. A.; TUFFI-SANTOS, L. D.; ALFENAS, A. C.; FARIA, A. T.; & SANT'ANNA-SANTOS, B. F. Differential Tolerance of Clones of Eucalyptus grandis Exposed to Drift of the Herbicides Carfentrazone-Ethyl and Glyphosate. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

SANTOS, F. A. M.; DOS SANTOS LELES, P. S.; DA SILVA SANTANA, J. E.; DO NASCIMENTO, D. F.; & MACHADO, A. F. L. Controle químico de plantas daninhas em povoamentos de restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

SEBASTIAN, D. J.; NISSEN, S. J.; & RODRIGUES, J. D. S. Pre-emergence control of six invasive winter annual grasses with imazapic and indaziflam. **Invasive Plant Science and Management**, v. 9, n. 4, p. 308-316, 2016.

SIMMONS, J. T., & KELLS, J. J. Variation and inheritance of isoxaflutole tolerance in corn (Zea mays). **Weed technology**, v. 17, n. 1, p. 177-180, 2003.

SOUSA, C. P., PINTO, J. J. O., MARTINAZZO, E. G., PERBONI, A. T., FARIAS, M. E., & BACARIN, M. A. Chlorophyll a fluorescence in rice plants exposed of herbicides of group imidazolinone. **Planta Daninha**, v. 32, n. 1, p. 141-150, 2014.

SOUZA, D. C., & ENGEL, V. L. (2017). Pre-emergence herbicides affect seedling emergence of tropical forest tree species. **Journal of Forestry Research**, v. 28, n. 4, p. 733-739, 2017.

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental question: the JIP test. In: MATHIS, P. (Ed.), **Photosynthesis: From Light to Biosphere**, vol. V. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands, p. 977-980, 1995.

SZABÓ, I.; BERGANTINO, E.; GIACOMETTI, G.M. Light and oxygenic photosynthesis: energy dissipation as a protection mechanism against photo-oxidation. **EMBO reports**, v. 6, n. 7, p. 629-634, 2005.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2021.

TANAKA, A.; & VIEIRA, G. Autoecologia das espécies florestais em regime de plantio de enriquecimento em linha na floresta primária da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 36, p. 193-204, 2006.

TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, M. S.; & MACHADO, A. F. L. Controle de plantas daninhas e seletividade do flumioxazin para eucalipto. **Cerne**, v. 18, p. 523-531, 2012.

TRENTIN, B. E.; ESTEVAN, D. A.; ROSSETTO, E. F. S.; GORENSTEIN, M. R.; BRIZOLA, G. P.; & BECHARA, F. C. Restauração florestal na Mata Atlântica: passiva, nucleação e plantio de alta diversidade. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 160-174, 2018.

TREZZI, M. M.; XAVIER, E.; VIDAL, R. A.; PORTES, E. D. S.; VOTTRI, M.; & LAMEGO, F. P. Teste rápido de imersão foliar de *Euphorbia heterophylla* para confirmação de resistência a herbicidas inibidores da PROTOX e da ALS. **Planta Daninha**, v. 29, p. 901-912, 2011.

VIEIRA, T. N. A.; & VIEIRA, L. T. A. Análise de Ecologia da paisagem do Sistema Cantareira voltada à questão Hídrica. **Greenpeace**. 2016.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N.B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

Capítulo 2: Controle de plantas daninhas em área de restauração florestal

Resumo: A forte competição exercida por plantas daninhas compromete a possibilidade de sucesso de empreendimentos visando a restauração florestal da Mata Atlântica. Poucos estudos avaliaram a utilização de herbicidas pré-emergentes como ferramenta para uso na implantação de povoamentos florestais com espécies arbóreas nativas. Objetivou-se nesse trabalho avaliar o controle de plantas daninhas em plantios visando a restauração florestal por herbicidas pré-emergentes. O experimento foi realizado em condições de campo, no município de Joanópolis SP. Os tratamentos foram compostos pelos herbicidas indaziflam (75 g ha^{-1}), isoxaflutole (150 g ha^{-1}), oxyfluorfen (960 g ha^{-1}), mais duas testemunhas, uma capinada e outra sem capina, no delineamento de blocos ao acaso, com 4 repetições. As parcelas foram compostas de cinco linhas contendo 10 plantas de 10 espécies arbóreas. A aplicação foi realizada sete dias após ao transplântio das mudas (DAT) com pulverizador costal elétrico a pressão constante de 240 kPa, aplicando um volume de calda de 200 L ha^{-1} . Aos 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação (DAA), avaliou-se o controle de plantas daninhas. Aos 120, realizou-se coleta de plantas daninhas pelo método do quadrado de inventário, utilizando-se um quadrado de 0,5 m de lado, lançado ao acaso 5 vezes em cada parcela. As plantas foram coletadas, separadas por espécies, contadas em relação ao número de indivíduos, colocadas em estufa por 70°C por 72 horas, e posteriormente foram pesadas, calculando-se assim o índice de valor de importância (IVI) para as espécies de plantas daninhas presentes na área. As espécies com os maiores IVI foram *Urochloa brizantha* e *Spermacoce latifolia*. O herbicida oxyfluorfen apresentou melhor controle de plantas daninhas, com uma média superior a 60 % de controle aos 120 DAA, contribuindo assim para maior redução da massa total de *Urochloa brizantha* quando comparada a testemunha, ao final do experimento.

Palavras-chaves: Pré-emergentes, fitossociologia, *Urochloa brizantha*, Mata Atlântica.

Abstract: The strong competition exerted by weeds compromises the possibility of success of projects aimed at forest restoration in the Atlantic Forest. Few studies have evaluated the use of pre-emergent herbicides as a tool for use in the implantation of forest stands with native tree species. The objective of this research was to evaluate weed control in plantations aiming at forest restoration by pre-emergent herbicides. The experiment was carried out under field conditions, in the town of Joanópolis SP. The treatments were composed of three herbicides, indaziflam (75 g ha^{-1}), isoxaflutole (150 g ha^{-1}), oxyfluorfen (960 g ha^{-1}), plus two controls, one weeded and the other without weeding, in a randomized block design, with 4 replications, where each plot consisted of 5 lines containing 10 plants of 10 species. The application was carried out 7 days after transplanting the seedlings (DAT) with a constant pressure electric backpack sprayer, applying a spray volume of 200 L ha^{-1} . At 30, 60, 90 and 120 days after application (DAA), weed control was evaluated. At 120, weeds were collected by the inventory square method, using a square of 0.5 m on a side, dropped at random 5 times at random in each plot. The plants were collected, separated by species, counted in relation to the number of individuals, placed in an oven at 70°C for 72 hours, and then weighed, thus calculating the importance value index (IVI) for the species of weeds present in the area. The species with the highest IVI were *Urochloa brizantha* and *Spermacoce latifolia*. The herbicide oxyfluorfen showed better weed control, with an average of more than 60% of control at 120 DAA, thus contributing to a greater reduction in the total mass of *Urochloa brizantha* when compared to the control, at the end of the experiment.

Keywords: Pre-emergent, phytosociological, *Urochloa brizantha*, rainforest.

1 Introdução

As plantas daninhas são caracterizadas como qualquer vegetal, independente do hábito de crescimento, capaz de interferir negativamente, por determinado período de tempo, nas diversas atividades humanas, como por exemplo na silvicultura (PITELI, 2015). Nos plantios que visam a restauração florestal a situação não difere das demais. Espécies nativas arbóreas enfrentam forte competição com plantas daninhas, em especial espécies da família Poaceae, conhecidas como gramíneas (GUSTAFSON et al., 2004; GONÇALVES et al., 2018; DIAS et al., 2019). Tal competição ocorre devido a maioria das áreas utilizadas para o reflorestamento no Brasil serem caracterizadas por pastagens degradadas, com forte presença de espécies do gênero *Urochloa*, conhecidas popularmente como braquiárias (RESENDE et al., 2017; SANTOS & SILVA, 2018).

No geral, culturas florestais são fortemente afetadas pela competição com as braquiárias (COLMANETTI et al., 2019; FRANDOLOSO et al., 2019; FIALHO et al., 2020). O aspecto competitivo dessas espécies está relacionado com seu mecanismo fotossintético C4, onde a concentração de CO₂ em torno da enzima ribulose -1,5-bisfosfato carboxilase (rubisco) dificulta a ocorrência da fotorrespiração e favorece o crescimento das mesmas em temperaturas elevadas (TAIZ & ZEIGER, 2017). Essas espécies possuem um rápido crescimento, competindo com as espécies nativas por água, luz, nutrientes, espaço e possivelmente promovem a liberação de substância alelopáticas (SANTOS et al., 2019).

Dentre os métodos de controle de plantas daninhas que vêm sendo utilizados em área de restauração florestal, destaque é dado ao mecânico, através de roçadas e capinas e ao químico, com utilização de herbicidas pós-emergentes, como por exemplo o glyphosate (FLORIDO & BRANCALION, 2014; LELES et al., 2017). O uso de herbicidas vêm sendo o meio mais eficiente e barato para o manejo de plantas daninhas em diferentes sistemas de produção (NANDULA & VENCILL, 2015; KNISS, 2017; WESTWOOD et al., 2018). Esse mesmo padrão de manejo de plantas daninhas vem se repetindo para os empreendimentos de restauração florestal, onde o uso dessas moléculas se apresenta como a forma mais eficiente de garantir a sobrevivência das espécies florestais em detrimento da competição com as espécies do gênero *Urochloa* e ainda ter ganhos com aumento de plantas regenerantes (SANTOS et al., 2020).

Os herbicidas pré-emergentes desempenham outra possibilidade de controle de plantas daninhas em áreas de reflorestamento, sendo os mesmos ainda pouco estudados para essa

finalidade. Diferente das moléculas que são utilizadas em pós-emergência, esses herbicidas se caracterizam pela promoção de efeito residual no solo, evitando assim a germinação e desenvolvimento dessas espécies sensíveis, contribuindo também para a diminuição do banco de sementes das plantas daninhas no solo (AMIM et al., 2016; SCHERER et al., 2017; NUNES et al., 2018). Essas moléculas atuam sobre as partes jovens das plantas, sendo a absorção realizada pelo epicótilo entre a germinação e a emergência, após ao contato direto da plântula em início de desenvolvimento com o herbicida presente no solo (CAPERJANI & OLIVEIRA JR, 2013). Todavia esses produtos são de utilização complexa, e suas respectivas capacidades de controle são dependentes de condições ambientais e das características físicas e químicas do solo e físico-químicas das moléculas utilizadas (GAZOLA et al., 2021).

Dentre os herbicidas pré-emergentes utilizados em florestas plantadas, destaque se dá aos herbicidas pré-emergentes indaziflam, oxyfluorfen e isoxaflutole, esses herbicidas possuem características que podem os habilitar para uso na restauração florestal, na implantação dos povoamentos de Mata Atlântica (LELES et al., 2017). O herbicida isoxaflutole tem como mecanismo de ação a inibição da síntese de caroteno e é caracterizado como um herbicida não-iônico, de baixa solubilidade, com tempo de meia vida de 50 dias e mobilidade moderada no solo (MARCHIORI JR et al., 2005). De forma similar, o herbicida oxyfluorfen também se caracteriza como um herbicida não-iônico, de baixa solubilidade, todavia, com baixa mobilidade no solo (RISCO et al., 2016). Diferente dos demais, o indaziflam é um herbicida ácido-fraco, com uma constante de dissociação de 3,5 (pKa), de baixa solubilidade e mobilidade no solo (GUERRA et al., 2013).

Diante dos fatos apresentados, os herbicidas pré-emergentes surgem como uma possibilidade de controle de plantas daninhas em áreas de reflorestamento com espécies nativas do bioma Mata Atlântica. Por promoverem efeito residual no solo, esses produtos podem favorecer o crescimento inicial das espécies nativas em detrimento das plantas daninhas, principalmente as do gênero *Urochloa*.

Objetivou-se nesse trabalho avaliar a eficácia de controle de plantas daninhas por herbicidas pré-emergentes, em plantios visando a restauração florestal com espécies nativas do bioma Mata Atlântica.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em área no município de Joanópolis (22° 55' 51" Sul, 46° 16' 35" Oeste), localizado no estado de São Paulo (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen o clima nessa região, é classificado como "Cfa", com temperatura média anual de 19,5 °C e uma pluviosidade média anual de 1.432 mm.



Figura 1: Área experimental com histórico de pastagem e predominância de *Urochloa brizantha*. Fonte: Gomes, A. C.

Para o preparo da área foi utilizado um subssolador florestal, com uma haste de 70 centímetros de profundidade acoplado a grade 8 discos. Posteriormente, foi realizada uma dessecação total da área com o herbicida glyphosate, 1440 g ha⁻¹ e.a (Roundup Original Mais). As mudas das espécies florestais (Tabela 1) foram previamente mergulhadas em solução nutritiva MAP e posteriormente transplantadas no espaçamento de 3,20 metros entre ruas e 1,70 metros entre mudas.

Tabela 1: Espécies florestais nativas da Mata Atlântica a serem utilizadas em experimento em área experimental de restauração florestal em Joanópolis, São Paulo.

Nome Popular	Nome Científico	Família
Angico vermelho	<i>Mimosa arenosa</i> (Wild.) Poir.	Fabaceae
Araçá amarelo	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine.	Myrtaceae
Aroeira pimenteira	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	Anacardiaceae
Embaúba prata	<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Urticaceae
Guapuruvú	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake	Fabaceae
Ingá	<i>Inga alba</i> (Sw.) Wild.	Fabaceae
Jacarandá da bahia	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	Fabaceae
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Fabaceae
Paineira	<i>Chorisia speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Malvaceae
Sangra d'água	<i>Croton urucurana</i> Baillon.	Euphorbiaceae

Os tratamentos foram compostos pelos herbicidas indaziflam, isoxaflutole, oxyfluorfen, mais duas testemunhas, sem capina e capinada (Tabela 2), dispostos no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de 5 linhas com 10 plantas em cada linha, sendo uma planta de cada espécie. O solo da localidade foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura argilosa (Tabelas 3).

Tabela 2: Herbicidas utilizados para avaliação do efeito residual e tolerância de espécies florestais nativas da Mata Atlântica.

Ingrediente ativo	Nome comercial	Dose (g ha ⁻¹ i.a.)*	Dose (L ha ⁻¹ p.c.)**
Indaziflam	Esplanade R	75	0,150
Isoxaflutole	Fordor 750 WG	150	0,200
Oxyfluorfen	Goal BR	960	4,00
Testemunha sem capina	-	-	-
Testemunha capinada	-	-	-

Tabela 3: Análise granulométrica, análise química e classificação textural realizada em solo da área experimental em Joanópolis, São Paulo.

Argila			Silte			Areia			Classificação Textural			Tipo de solo			
-----%			-----%			-----%									
45			12			43			Argila			Argiloso			

Prof	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	S	T	V	M	N	pH _{spm}	P	Mo.	CTC
Cm	----- Cmol _e / dm ³ -----				----- % -----							1:2,5	mg/L	%	Cmol _e / dm ³
0-20	0,01	0,40	0,20	0,06	5,60	0,70	0,67	6,27	11	51,1	0,0 0	5,73	4,0	2,5	6,27

Aos 7 dias após o transplântio das mudas (DAT) foi realizada a aplicação dos herbicidas, de acordo com os tratamentos, com auxílio de um pulverizador costal elétrico, munido de uma barra equipada com duas pontas de pulverização do tipo leque AIXR 110.02, espaçadas de 0,5 m, trabalhando a pressão constante de 240 kPa, aplicando volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹.

Aos 30, 60, 90 e 120 dias após aplicação (DAA), foram realizadas avaliações de controle de plantas daninhas através de observação visual de acordo com escala pré-estabelecida, onde 100% corresponde ao controle total e 0% a nenhum controle (ALAM, 1974).

Aos 120 DAA realizou-se amostragem de plantas daninhas nas parcelas com auxílio de um quadrado de madeira de 0,5 m de lado, lançado cinco vezes em cada parcela de forma aleatória (Figura 2). As plantas daninhas contidas no interior do quadrado foram coletadas, separadas por espécies, identificadas e contadas e posteriormente essas plantas foram alocadas em sacos de papéis e colocadas em estufa de circulação de ar forçada, a 65 °C por 72 horas, para a obtenção dos valores de massa da matéria seca.



Figura 2: Quadrado de inventário de 0,5 m de lado usado na coleta de plantas daninhas para realização de análise fitossociológica. Fonte: Gomes, A.C.

De posse dos dados foram calculados a densidade relativa (Den.R), frequência relativa (Fr.R), dominância relativa (Do.R) e o índice de valor de importância (IVI) para cada espécie de planta daninha presente na área experimental (PITELI et al., 2000) (Tabela 4).

Tabela 4: Fórmulas utilizadas para se determinar os parâmetros fitossociológicos avaliados no experimento em Joanópolis, São Paulo. Adaptado de Piteli et al (2000).

Densidade relativa (De.R)	$(\text{densidade da espécie} / \text{densidade total das espécies}) \times 100$
Frequência relativa (Fr.R)	$(\text{frequência da espécie} / \text{frequência total das espécies}) \times 100$
Dominância relativa (Do.R)	$(\text{massa seca da espécie} / \text{massa seca total das espécies}) \times 100$
Índice do valor de importância (IVI)	$\text{De.R} + \text{Fr.R} + \text{Do.R}$

Os dados referentes ao controle de plantas daninhas foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e posteriormente, tendo atendido as pressuposições, foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 Resultados

3.1 Controle de plantas daninhas

Na condição do presente estudo, a ocorrência da espécie *Urochloa brizantha* foi predominante em toda a área experimental. O controle de plantas daninhas, pelos herbicidas, em avaliação realizada aos 30 dias após a aplicação (DAA), foi considerado excelente para todos os herbicidas avaliados. Todavia, o herbicida isoxaflutole apresentou menor controle se comparado aos demais tratamentos, com uma média de 96,5 % diferindo estatisticamente do oxyfluorfen e indaziflam, com média de controle de 99,5 e 98,75 %, respectivamente (Figura 3).

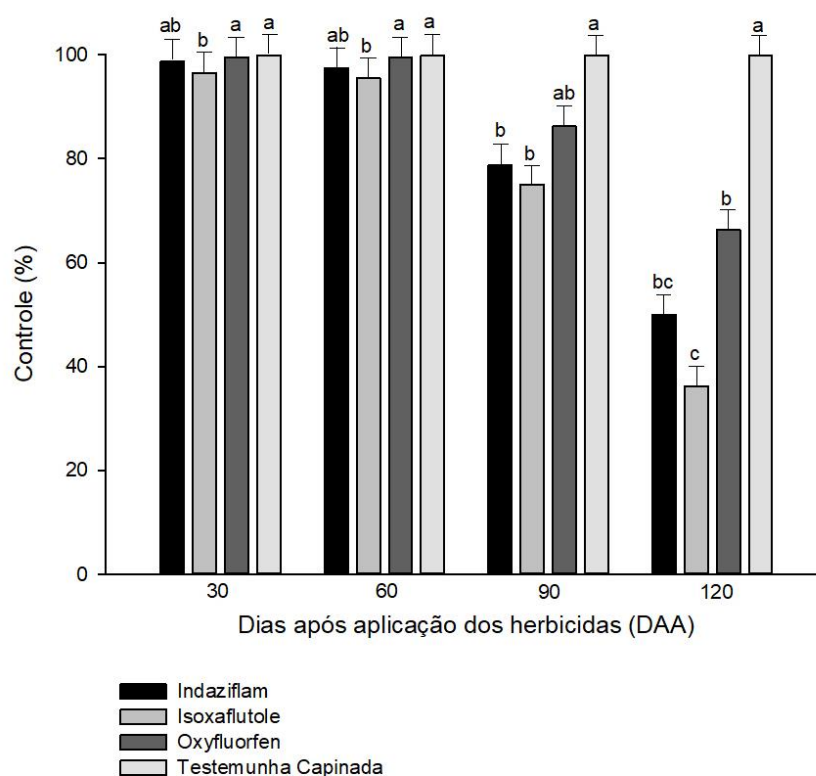


Figura 3: Controle de plantas daninhas (%) aos 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação (DAA) dos herbicidas pré-emergentes indaziflam (75 g ha⁻¹), isoxaflutole (150 g ha⁻¹) e oxyfluorfen (960 g ha⁻¹).

Aos 60 DAA, as médias de controle se mantiveram no padrão da avaliação realizada aos 30 DAA. Assim como aos 30 DAA, o controle se manteve alto em decorrência da aplicação

dos herbicidas pré-emergentes indaziflam, oxyfluorfen e isoxaflutole. Mesmo tendo diferido estatisticamente dos demais herbicidas avaliados, o isoxaflutole promoveu um controle de 95,5 % das plantas daninhas no período de avaliação indicado (Figura 4).

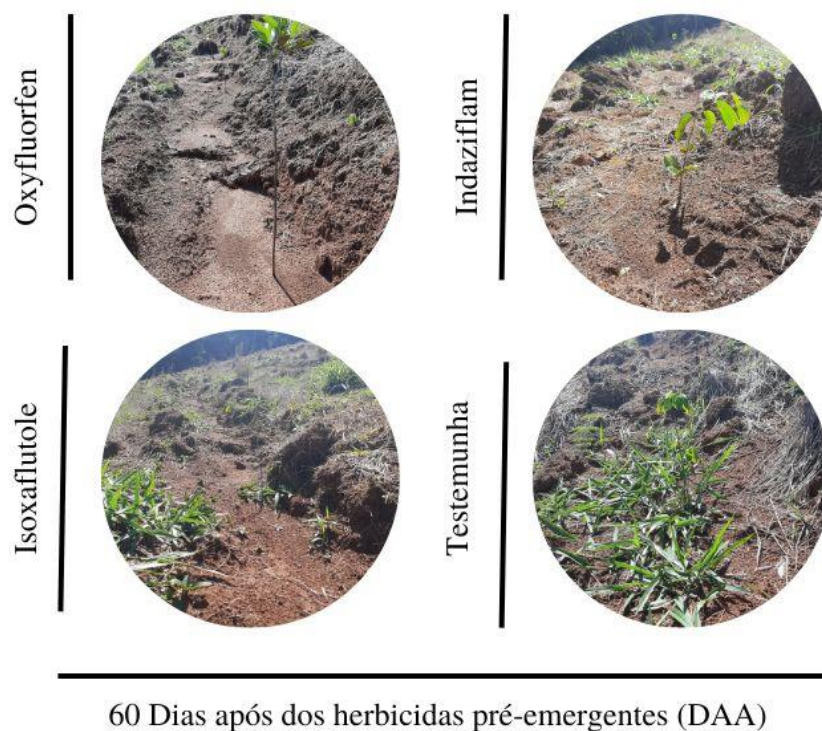


Figura 4: Controle de plantas daninhas para os tratamentos oxyfluorfen, indaziflam, isoxaflutole e testemunha sem capina, aos 60 dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA). Fonte: Gomes, A. C.

No entanto, em avaliação realizada aos 90 DAA, foi possível observar redução do efeito residual dos herbicidas pré-emergentes avaliados e a consequente queda das médias de controle das plantas daninhas (Figura 3). A partir desse momento o herbicida oxyfluorfen apresentou redução na eficiência de controle em relação a testemunha capinada, apresentando média de 86,25 %. Porém, mesmo diante da redução do controle, ainda se apresentava superior aos herbicidas isoxaflutole e indaziflam, que não deferiram estatisticamente entre si, apresentando médias de controle de 75 e 78,75 %, respectivamente (Figura 5).

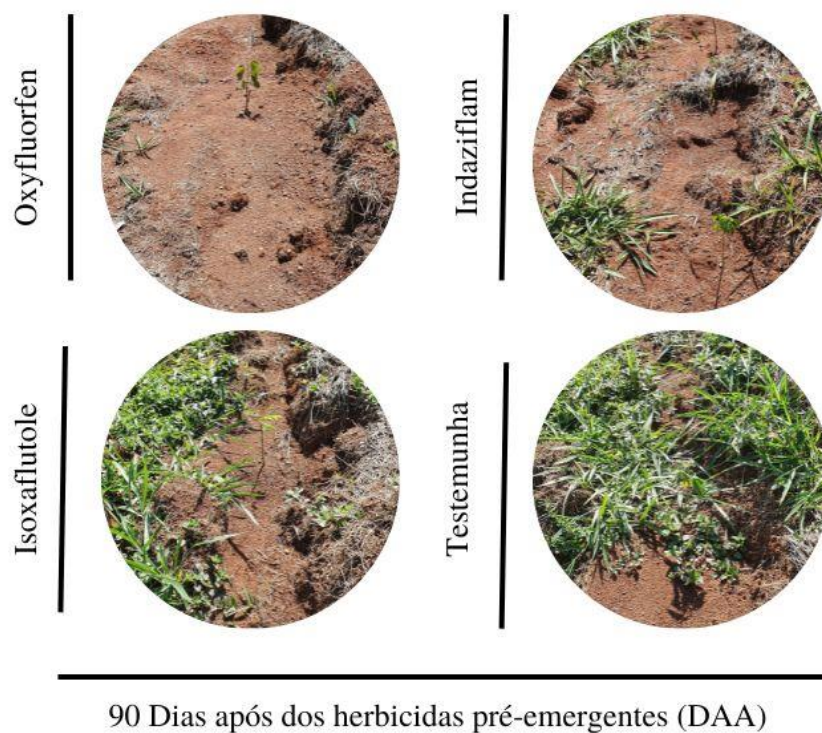


Figura 5: Controle de plantas daninhas para os tratamentos oxyfluorfen, indaziflam, isoxaflutole e testemunha sem capina, aos 90 dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA). Fonte: Machado, A. L. F.

Seguindo o mesmo padrão da avaliação anterior, através da avaliação realizada aos 120 DAA foi possível verificar que o controle de plantas daninhas apresentou declínio. O tratamento com oxyfluorfen ainda se apresentava superior aos demais herbicidas, todavia com uma média de controle de apenas 66,25 %. O herbicida indaziflam, com média de 50 % de controle, diferiu estatisticamente do isoxaflutole, cuja média de controle não ultrapassou aos 40 %.

3.2 Análise de fitossociologia

De acordo com as análises de fitossociologia na área experimental, foi possível a observação de 14 espécies de plantas daninhas aos 120 DAA (Tabela 6). A família Poaceae foi a mais predominante entre as demais, no entanto, houve maior porcentagem de espécies dicotiledôneas no presente estudo.

Tabela 5: Espécies de plantas daninhas encontradas na área experimental aos 120 dias após aplicação dos herbicidas.

Nome Científico	Nome Popular	Família	Endemismo
<i>Urochloa brizantha</i> (Hochst. Ex A.Rich.(R.D.Webster)	Braquiária brizanta	Poaceae	Não nativa
<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl. (Boilf)	Erva quente	Rubiaceae	Nativa
<i>Sida rhombifolia</i> L.	Guanxuma	Malvaceae	Nativa
<i>Andropogon bicornis</i> L.	Capim rabo de burro	Poaceae	Nativa
<i>Spermacoce verticillata</i> L.	Vassourinha-de-botão	Rubiaceae	Nativa
<i>Solanum paniculatum</i> L.	Jurubeba	Solanaceae	Nativa
<i>Urochloa panicoides</i> Beauv.	Braquiária	Poaceae	Não nativa
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	Carrapicho-de-carneiro	Asteraceae	Nativa
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Capim colchão	Poaceae	Não nativa
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Leiteiro	Euphorbiaceae	Nativa
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	Vassourinha	Malvaceae	Nativa
<i>Jasminum fluminensis</i> Vell.	Jasmim	Oleaceae	Não nativa
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca	Cyperaceae	Não nativa
<i>Ficus spp</i>	Figueira	Moraceae	Nativa

Ao observar os resultados das análises de fitossociologia, verificou-se maior riqueza de espécies no tratamento testemunha, sem a aplicação de herbicidas. A aplicação dos herbicidas pré-emergentes, com destaque para o indaziflam, proporcionou a diminuição da riqueza de plantas daninhas. Para todos os herbicidas testados, aos 120 DAA, as espécies que apresentaram os maiores valores de importância (IVI) foram *Urochloa brizantha* (braquiária-brizhanta) e *Spermacoce latifolia* (erva quente), todavia com diferença nos parâmetros de densidade relativa (De.R), frequência relativa (Fr.R), dominância relativa (Do.R) (Figura 06). Em comparação entre as duas espécies, *Spermacoce latifolia* apresentou maior valor de importância para o tratamento testemunha, tendo os maiores valores de frequência relativa (Fr.R) e dominância relativa (Do.R). Para os tratamentos com aplicação dos herbicidas pré-emergentes, *Spermacoce latifolia* teve os maiores valores de densidade relativa (De.R), frequência relativa (Fr.R), dominância relativa (Do.R) e consequentemente maior valor de importância (IVI) para o

tratamento isoxaflutole. Todavia, aos 120 DAA, a espécie *Urochloa brizantha* obteve os maiores valores de densidade relativa (De.R), frequência relativa (Fr.R), dominância relativa (Do.R) e valor de importância (IVI) para os tratamentos com aplicação dos herbicidas pré-emergentes indaziflam e oxyfluorfen.

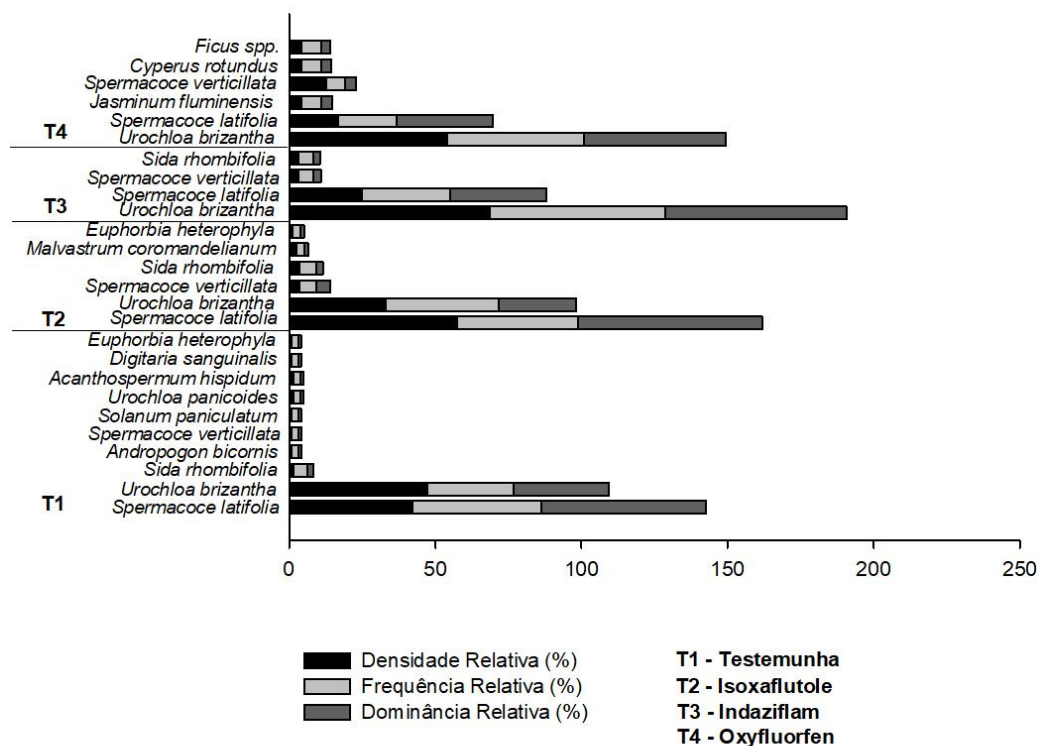


Figura 6: Análise da densidade relativa (De.R), frequência relativa (Fr.R), dominância relativa (Do.R) e índice de valor de importância (IVI) para os tratamentos testemunha, isoxaflutole, indaziflam e oxyfluorfen aos 120 DAA.

O IVI é um índice que expressa numericamente a importância de uma espécie dentro de uma comunidade, caracterizado como valor mais relevante dentro de uma análise fitossociológica por ser o somatório dos parâmetros de densidade relativa (De.R), frequência relativa (Fr.R) e dominância relativa (Do.R) (OLIVEIRA & FREITAS, 2008). No presente estudo, na testemunha, assim como nas parcelas que receberam os herbicidas indaziflam e oxyfluorfen, verificou-se a braquiária brizanta (*Urochloa brizantha*) como espécie de planta daninha de maior IVI. Já nas parcelas que receberam o herbicida isoxaflutole, a espécie *Spermacoce latifolia* (erva quente) apresentou o maior IVI.

Em comparação dos valores de massa seca total obtidos para as espécies *Spermacoce*

latifolia e *Urochloa brizantha*, o herbicida oxyfluorfen promoveu uma redução de 65,8 e 86,8 % de massa total de braquiária e erva quente, respectivamente, em relação à testemunha (Figura 8). O oxyfluorfen apresentou melhores notas de controle em relação aos demais herbicidas ao longo de todo experimento.

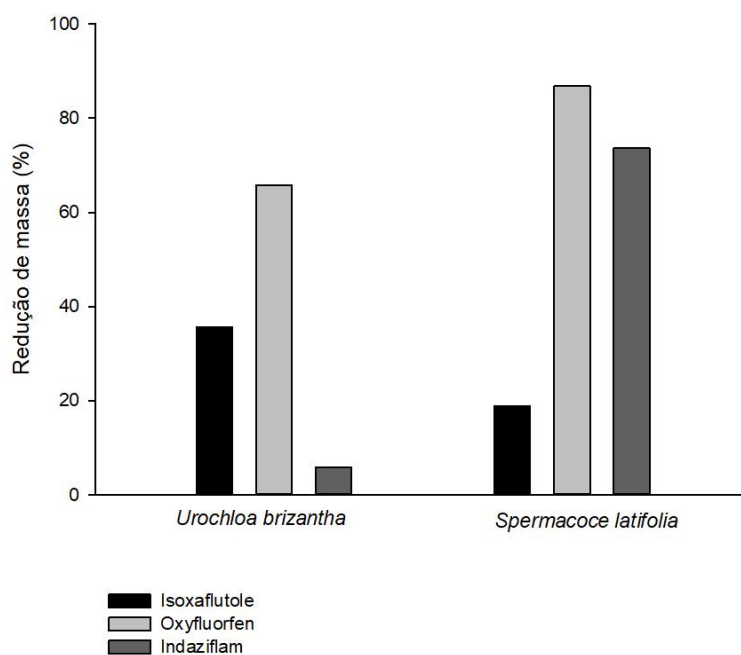


Figura 7: Redução de massa seca de *Urochloa brizantha* e *Spermacoce latifolia* em relação à testemunha pelos herbicidas indaziflam (75 g.ha⁻¹), isoxaflutole (150 g.ha⁻¹) e oxyfluorfen (960 g.ha⁻¹).

O herbicida indaziflam foi capaz de reduzir apenas 5,91 % da massa seca de *Urochloa brizantha* em relação à testemunha, aos 120 DAA. No entanto, para *Spermacoce latifolia* esse valor foi superior aos 70 %. Para o herbicida isoxaflutole os valores de redução de massa seca em relação à testemunha foram de 35,7 e 18,9 % para as espécies *Urochloa brizantha* e *Spermacoce latifolia*, respectivamente. Esse herbicida apresentou notas de controle inferiores aos demais, desde primeira data de avaliação, realizada aos 30 DAA.

4 Discussão

O período residual dos herbicidas pré-emergentes, vai depender das propriedades físico-químicas de cada molécula e como a mesma irá reagir com os fatores ambientais, como umidade do solo, precipitação, resíduos culturais, características físicas e químicas do solo, teor de matéria orgânica, pH do solo, decomposição microbiana e química (MONQUERO et al., 2008; ALONSO et al., 2011; KHALI et al., 2019; GAZOLA et al., 2021). Segundo Carneiro et al. (2020), o período residual desses herbicidas irá depender da sorção e dessorção do solo, e esses por sua vez, serão dependentes da interação das características físico-química dos herbicidas e do solo. Ou seja, para que essas moléculas apresentem um bom período residual de controle, é fundamental que apresentem alta sorção pelos colóides do solo e baixa dessorção, sendo as mesmas liberadas gradativamente para a absorção e posterior controle das plantas daninhas (MELO et al., 2010).

Teores de matéria orgânica e argila exercem grande importância no período residual dos herbicidas não iônicos aplicados em pré-emergência. Através de um experimento realizado por Monquero et al. (2008) pôde-se observar que solos com maiores teores de argila e matéria orgânica, em detrimento de solos com textura arenosa, favorecem um maior período residual de diversos herbicidas pré-emergentes.

Dentre os herbicidas pré-emergentes avaliados, o oxyfluorfen apresenta tempo de meia-vida de 30 a 40 dias e suas moléculas são fortemente adsorvidas aos colóides do solo, promovendo a esse herbicida boa resistência à lixiviação (OLIVEIRA JR et al., 2012). Sendo considerado como um herbicida de média a alta persistência no solo, o seu principal meio de degradação ocorre pela fotodegradação (MANTZOS et al., 2014). Em avaliação de efeito residual em solo de textura franco-arenosa e argilosa, o oxyfluorfen se mostrou eficiente em ambos, tendo efeito residual sido observado até os 60 dias após a aplicação (MELO et al., 2010).

Por ser um herbicida não-iônico o oxyfluorfen não dissocia no solo, consequentemente a sorção e dessorção desse herbicida não é influenciada pelo pH do solo (RODRIGUES & ALMEIRDA, 2011). Além desse fator, essa molécula apresenta baixa solubilidade e um alto coeficiente de sorção (K_{oc}), em torno de 7000 mL g^{-1} , refletindo na capacidade dessa molécula de ficar retida na matéria orgânica do solo e ter um efeito residual prolongado (DUMAS et al., 2008). De acordo com essas observações, é possível atrelar as boas médias de controle pelo herbicida oxyfluorfen, que foram expressivas até os 90 DAA do presente estudo, às características físicas-químicas do solo, cujo porcentual de matéria orgânica foi classificado como médio e o teor de argila em torno de 50%.

O herbicida indaziflam, apesar de utilizado em baixas doses, apresenta um longo período residual nos solos, tendo um tempo de meia vida de aproximadamente de 150 dias, sendo caracterizado, segundo suas características físico-químicas, como um herbicida de mobilidade moderada (ALONSO et al., 2011; ALONSO et al., 2015). Em ensaio com utilização de pepino (*Cucumis sativus* L.) semeado em solos de texturas arenosas e argilosas, o herbicida promoveu elevados efeitos de fitotoxicidade na espécie até 100 dias após a aplicação (SAVARIS et al., 2019). Todavia, Amin et al. (2014) observaram que o indaziflam promoveu melhor controle de plantas daninhas em solo de textura franco argilo-arenosa, devido a maior disponibilidade do herbicida na solução do solo. Em contraste, o solo do presente estudo por possuir uma textura argilosa, possivelmente promoveu uma menor disponibilidade do indaziflam na solução do solo, acarretando uma menor média de controle quando comparado ao herbicida oxyfluorfen.

Por ser um herbicida denominado como ácido fraco, o indaziflam apresenta uma capacidade de dissociação eletrolítica (pKa) de 3,5, sendo a dissociação desse herbicida afetada pelo pH do solo (GONÇALVES et al., 2021). Para os herbicidas ácidos fracos, quanto maior o pH do solo, maior será a disponibilidade das moléculas em sua forma iônica em detrimento da adsorção, ou seja, quanto maior o pH, maior a disponibilidade dessa molécula de forma imediata e menor efeito residual (CHRISTOFFOLETI E LÓPEZ-OVEJERO, 2009). O pH do solo na área experimental era de 5,73, podendo o mesmo ter favorecido uma maior disponibilidade imediata do herbicida indaziflam em detrimento de um menor efeito residual durante o período avaliado.

Já o herbicida isoxaflutole apresenta uma diminuição de sorção no solo com o decréscimo de matéria orgânica e com aumento do pH (OLIVEIRA JR et al., 2006). Em avaliação do efeito residual em diferentes solos, pode-se observar que o efeito residual do mesmo foi afetado para solos de textura franco-arenosa e de textura argilosa com baixos teores de matéria orgânica, possivelmente uma menor disponibilidade do herbicida no solo devido uma menor presença de sítios sortivos que consequentemente promoveram menor sorção e efeito residual do herbicida (MELO et al., 2010). Por ser uma molécula com moderado coeficiente de sorção (Koc), diferentemente do oxyfluorfen e indaziflam que possuem altos coeficientes (RODRIGUES & ALMEIDA, 2011), o menor efeito residual dessa molécula possivelmente está atrelado à essa característica, sendo esse o fator determinante para o controle inferior exercido pelo isoxaflutole em comparação aos demais tratamentos.

Tendo-se em observação que a análise de fitossociologia foi realizada num período em

que os herbicidas já não apresentavam um controle eficiente de plantas daninhas, e que devido ao histórico, as áreas destinadas a restauração florestal apresentam forte presença de braquiárias, é de se esperar uma maior presença de braquiárias na área avaliada (NAVE et al., 2009). Como já relatado por Leles et al. (2017); Gonçalves et al. (2018); Dias et al. (2019), as espécies desse gênero afetam a probabilidade de sucesso de empreendimentos de restauração florestal por exercerem forte competição de recursos com as espécies nativas da Mata Atlântica. O controle químico com a utilização do herbicida glyphosate, vêm se mostrando eficiente para o controle de *Urochloa* em tais empreendimentos (SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2020).

A espécie *Spermacoce latifolia* (erva quente) é uma planta daninha herbácea, nativa da América do Sul, pertencente à família Rubiaceae (LUO et al., 2015). Essa espécie é encontrada com frequência em áreas destinadas à cultivos agrícolas e silviculturais (TIBURCIO et al., 2012; WIERSEMA et al., 2017). Para o presente estudo, a erva quente apresentou destaque em importância para a comunidade avaliada, tendo sido a espécie com maior IVI para o tratamento isoxaflutole, possivelmente devido a menor eficiência de controle desse herbicida sobre espécies dicotiledôneas (TIBURCIO et al., 2012). Em estudo buscando avaliar o controle de herbicidas pré-emergentes aplicados sobre resíduo de colheita de eucalipto, Carbonari et al. (2019) observaram que o isoxaflutole promoveu um controle eficiente *Spermacoce latifolia* e *Urochloa decumbens* até aos 45 DAA, no entanto, apresentou controle ineficiente para *Ipomoea grandifolia*. Todavia, espécies dicotiledôneas que apresentem boa cobertura do solo e consequente supressão das espécies exóticas, como por exemplo gramíneas, são consideradas espécies regenerantes e benéficas para a finalidade de empreendimentos de restauração florestal (CASIMIRO et al., 2022).

Em relação aos dados de redução de massa de braquiária e erva quente, as informações do presente experimento corroboram com os dados encontrados por Tiburcio et al. (2012), onde o oxyfluorfen promoveu uma eficiência de controle de 93,75 % para espécies monocotiledôneas e 76,25 % para espécies dicotiledôneas até 60 DAA. Essa molécula vem apresentando boa eficiência de controle para plantas dicotiledôneas como *Ipomea trilobata*, *Euphorbia heterophylla* e *Alyssum desertorum* (GUERRA et al., 2015; MEYER-MOREY et al., 2021). Segundo ensaio realizado por Amim et al. (2014), até aos 40 DAA, o indaziflam promoveu controle eficaz das plantas daninhas, *Digitaria horizontalis* (capim colchão) e *Panicum maximum* (capim colônia). Segundo Zhao et al. (2017), o isoxaflutole promove um controle eficiente tanto de plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas, havendo pouca diferença para a classe das espécies. Devido a sua alta eficiência no controle de gramíneas

exóticas, é possível apontar o oxyfluorfen como herbicida de maior eficiência para o controle de plantas daninhas em área de restauração florestal.

5 Conclusão

Sendo assim, conclui-se com esse trabalho que:

Os herbicidas pré-emergentes avaliados apresentaram controle eficiente das plantas daninhas até os 60 DAA.

O herbicida mais eficiente foi oxyfluorfen, apresentando as maiores médias de controle e maior redução da massa total de *Urochloa brizantha* até os 120 DAA.

As espécies *Urochloa brizantha* e *Spermacoce latifolia* apresentaram os maiores índices de importância em todos os tratamentos avaliados.

6 Referências Bibliográficas

ALAM. **Asociación Latinoamericana De Malezas. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas.** Alam, Bogotá 1.1 p. 35-38. 1974.

ALONSO, D. G.; OLIVEIRA JR, R. S.; HALL, K. E.; KOSKINEN, W. C.; CONSTANTIN, J.; & MISLANKAR, S. Changes in sorption of indaziflam and three transformation products in soil with aging. **Geoderma**, v. 239, p. 250-256, 2015.

ALONSO, D. G.; KOSKINEN, W. C.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; & MISLANKAR, S. Sorption–desorption of indaziflam in selected agricultural soils. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 59, n. 24, p. 13096-13101, 2011.

AMIM, R. T.; FREITAS, S. D. P.; FREITAS, I. L. D. J.; & SCARSO, M. F. Banco de sementes do solo após aplicação de herbicidas pré-emergentes durante quatro safras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1710-1719, 2016.

AMIM, R. T.; FREITAS, S. P.; FREITAS, I. D. J.; GRAVINA, G. A.; & PAES, H. M. F. Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. **Planta Daninha**, v. 32, p. 791-800, 2014.

CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; KRENCHINSKI, F. H.; SIMÕES, P. S.; BATISTA

DE CASTRO, E.; & VELINI, E. D. Dynamics and efficacy of sulfentrazone, flumioxazin, and isoxaflutole herbicides applied on eucalyptus harvest residues. **New Forests**, v. 51, n. 4, p. 723-737, 2020.

CARPEJANI, M.; & OLIVEIRA JR, R. S. Manejo químico de capim-amargoso resistente a glyphosate na pré-semeadura da soja. **Revista Campo Digital**, v. 8, n. 1, 2013.

CARNEIRO, G. D. O. P.; DE FREITAS SOUZA, M.; LINS, H. A.; DAS CHAGAS, P. S. F.; SILVA, T. S.; DA SILVA TEÓFILO, T. M.; & SILVA, D. V. Herbicide mixtures affect adsorption processes in soils under sugarcane cultivation. **Geoderma**, v. 379, p. 114626, 2020.

CASIMIRO, M. S.; FILARDI, R. A. E.; SANSEVERO, J. B. B.; SANTANGELO, J. M.; FEITOSA, R. M.; & QUEIROZ, J. M. Concordância entre plantas regenerantes, formigas e outros artrópodes na Mata Atlântica: a importância da identidade das árvores no dossel. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 112, 2022.

COLMANETTI, M. A. A.; BACHA, A. L.; DA COSTA AGUIAR ALVES, P. L.; & DE PAULA, R. C. Effect of increasing densities of *Urochloa brizantha* cv. Marandu on *Eucalyptus urograndis* initial development in silvopastoral system. **Journal of Forestry Research**, v. 30, n. 2, p. 537-543, 2019.

DIAS, M. M. M.; DA SILVA SANTANA, J. E.; DOS SANTOS LELES, P. S.; DE RESENDE, A. S.; & RIBEIRO, J. G. Coroamento com papelão para controle de braquiária na formação de povoamento para restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, 2019.

DUMAS, J. A.; SEMIDEY, N.; CACHO, C.; & CASANOVA, P. Field dissipation of prometryn, oxyfluorfen and imazethapyr in Molisol and Vertisol soils. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 92, n. 3, p. 4, 2008.

FIALHO, C.; SILVA, A.; MELO, C.; COSTA, M.; SOUZA, M.; & REIS, L. Interferência de Plantas Daninhas na Cultura da Soja Afeta a Atividade e Biomassa Microbiana do Solo. **Planta Daninha**, v. 38, 2020.

FLÓRIDO, F. G., & BRANCALION, P. H. Uso do herbicida glifosate no panorama de restauração florestal. 2014.

FRANDOLOSO, F.; GALON, L.; GABIATTI, R. L.; BIANCHESSI, F.; HOLZ, C. M.;

- MENEGAT, A. D.; & FORTE, C. T. Competition of maize hybrids with alexandergrass ('*Urochloa plantaginea*'). **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 9, p. 1447-1455, 2019.
- GAZOLA, T.; GOMES, D. M.; BELAPART, D.; DIAS, M. F.; CARBONARI, C. A.; & VELINI, E. D. Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop. **Revista Ceres**, v. 68, p. 219-229, 2021.
- GONÇALVES, F.; RESENDE, A.; LIMA, I.; & CHAER, G. Coroamento Manual Versus Papelão na Restauração Florestal: Custos e Efeito sobre o Desenvolvimento das Mudas. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.
- GUERRA, N.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA NETO, A. M.; PUTON, G.; & GARRIDO, T. H. P. Influence of precipitation and sugarcane straw in aminocyclopyrachlor and indaziflam control efficiency. **Planta Daninha**, v. 33, p. 535-542, 2015.
- GUERRA, N.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; DE OLIVEIRA NETO, A. M.; & BRAZ, G. B. P. Aminocyclopyrachlor e indaziflam: Seletividade, controle e comportamento no ambiente. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 285-295, 2013.
- GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J.; & NICKRENT, D. L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**, v. 18, n. 3, p. 451-457, 2004.
- KHALIL, Y.; FLOWER, K.; SIDDIQUE, K. H.; & WARD, P. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **PloS one**, v. 14, n. 2, p. e0210219, 2019.
- KNISS, A. R. Genetically engineered herbicide-resistant crops and herbicide-resistant weed evolution in the United States. **Weed Science**, v. 66, n. 2, p. 260-273, 2018.
- LELES, P. S. S.; MACHADO, A. F. L.; SILVA, A. P.; SANTOS, F. A. G. Uso de herbicidas na restauração florestal. In: RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S.; Controle de plantas daninhas em restauração florestal. **Embrapa**: Brasília, DF, 2017, p. 45-61.
- LUO, Y.; XU, Q. L.; DONG, L. M.; ZHOU, Z. Y.; CHEN, Y. C.; ZHANG, W. M.; & TAN, J. W. A new ursane and a new oleanane triterpene acids from the whole plant of *Spermacoce latifolia*. **Phytochemistry Letters**, v. 11, p. 127-131, 2015.

MARCHIORI JR, O.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R. S.; INOUE, M. H.; PIVETTA, J. P.; & CAVALIERI, S. D. Efeito residual de isoxaflutole após diferentes períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 23, p. 491-499, 2005.

MANTZOS, N.; KARAKITSOU, A.; HELA, D.; PATAKIOUTAS, G.; LENETI, E.; & KONSTANTINOI, I. Persistence of oxyfluorfen in soil, runoff water, sediment and plants of a sunflower cultivation. **Science of the total environment**, v. 472, p. 767-777, 2014.

MELO, C. A. D.; MEDEIROS, W. N.; TUFFI SANTOS, L. D.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, G. L.; PAES, F. A. S. V.; & REIS, M. R. Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta daninha**, v. 28, p. 835-842, 2010.

MEYER-MOREY, J.; LAVIN, M., MANGOLD, J.; ZABINSKI, C.; & REW, L. J. Indaziflam controls nonnative *Alyssum* spp. but negatively affects native forbs in sagebrush steppe. **Invasive Plant Science and Management**, v. 14, n. 4, p. 253-261, 2021.

MONQUERO, P. A.; SILVA, A. C.; BINHA, D. P.; AMARAL, L. R.; SILVA, P. V.; & INACIO, E. M. Mobility and persistence of herbicides applied in pre-emergence on different soils. **Planta Daninha**, v. 26, p. 411-417, 2008.

NANDULA, V. K.; & VENCILL, W. K. Herbicide absorption and translocation in plants using radioisotopes. **Weed Science**, v. 63, n. SP1, p. 140-151, 2015.

NAVE, R. L. G.; PEDREIRA, C. G. S.; & DE LIMA, C. G. Correlações canônicas entre características morfológicas, físicas e bromatológicas do capim Xaraés sob pastejo rotativo. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 2, p. 270-275, 2009.

NUNES, A.; LORENSET, J.; GUBIANI, J.; & SANTOS, F. Estudo multianos revela a importância dos herbicidas residuais no controle de plantas daninhas em soja RR. **Planta Daninha**, v. 36, 2018.

OLIVEIRA JR, R. S.; CARNEIRO, J. C.; CONSTANTIN, J.; SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A. C.; & OLIVEIRA NETO, A. M. Atividade residual de diuron, oxyfluorfen e prometryne no controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 30, p. 649-658, 2012.

OLIVEIRA JR, R. S.; MARCHIORI JR, O.; CONSTANTIN, J.; & INOUE, M. H. Influência do período de restrição hídrica na atividade residual de isoxaflutole no solo. **Planta Daninha**,

v. 24, p. 733-740, 2006.

OLIVEIRA, A. R.; & FREITAS, S. D. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta daninha**, v. 26, p. 33-46, 2008.

PITELLI, R. A. O termo planta-daninha. **Planta Daninha**, v. 33, p. 622-623, 2015.

PITELLI, R.A. Estudos fitossociológicos em comunidades infestantes de agrossistemas. **Jornal Conserb**, v.1, n. 2, p.1-7, 2000.

SANTOS, T. A.; & DA SILVA, F. F. Plantas daninhas situadas em áreas de reflorestamento no Brasil: Uma revisão de literatura. 2018.

RESENDE, A. S.; LELES, P. D. S.; ALEXANDER SILVA DE RESENDE, C. N. P. A. B.; & LELES, P. S. D. S. Controle de plantas daninhas em restauração florestal. . **Embrapa**: Brasília, DF, 2017, p. 45-61.

RISCO, C.; RUBÍ-JUÁREZ, H.; RODRIGO, S.; LÓPEZ-VIZCAÍNO, R.; SAEZ, C.; CAÑIZARES, P.; & RODRIGO, M. A. Removal of oxyfluorfen from spiked soils using electrokinetic soil flushing with the surrounding arrangements of electrodes. **Science of the Total Environment**, v. 559, p. 94-102, 2016.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.

SANTOS, F. A. M. D.; LELES, P. S. D. S.; RESENDE, A. D. S.; NASCIMENTO, D. F. D.; & SANTOS, G. R. D. Control strategies of urochloa spp. in the formation of forest restoration. **Ciência Florestal**, V. 30, P. 29-42, 2020.

SANTOS, F. A. M.; DOS SANTOS LELES, P. S.; DA SILVA SANTANA, J. E.; DO NASCIMENTO, D. F.; & MACHADO, A. F. L. Controle químico de plantas daninhas em povoamentos de restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

SANTOS, T. A.; RESENDE, A. S.; SILVA, F. F.; MORAES, L. F. D.; & CHAER, G. M. Growth of tree species in coexistence with palisade grass *Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) Stapf CV. Marandu. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

SAVARIS, Q. M.; INOUE, M. H.; MENDES, K. F.; MACIEL, C. D. G.; & HELVIG, E. O.

Determination of residual effect of indaziflam and amicarbazone in two soils through bioassay. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 3, p. 617-1-7, 2019.

SCHERER, M. B.; SPATT, L. L.; PEDROLLO, N. T.; DE ALMEIDA, T. C.; SANCHOTENE, D. M.; & DORNELLES, S. H. B. Herbicidas pré-emergentes para manejo de milho voluntário RR® na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TIBURCIO, R. A. S.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, M. S.; & MACHADO, A. F. L. Controle de plantas daninhas e seletividade do flumioxazin para eucalipto. **Cerne**, v. 18, p. 523-531, 2012.

WESTWOOD, J. H.; CHARUDATTAN, R.; DUKE, S. O.; FENNIMORE, S. A.; MARRONE, P.; SLAUGHTER, D. C.; & ZOLLINGER, R. Weed management in 2050: Perspectives on the future of weed science. **Weed science**, v. 66, n. 3, p. 275-285, 2018.

WIERSEMA, J. H.; DELPRETE, P. G.; KIRKBRIDE, J. H.; & FRANCK, A. R. A New Weed in Florida, *Spermacoce latifolia*, and the Distinction between *S. alata* and *S. latifolia* (Spermacoceae, Rubiaceae). **Castanea**, v. 82, n. 2, p. 114-131, 2017.

ZHAO, N.; ZUO, L.; LI, W.; GUO, W.; LIU, W.; & WANG, J. Greenhouse and field evaluation of isoxaflutole for weed control in maize in China. **Scientific Report**