

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Guilherme Augusto de Paiva Ferreira

Influência da intensidade de luz no controle químico de plantas daninhas

Montes Claros

2021

Guilherme Augusto de Paiva Ferreira

Influência da intensidade de luz no controle químico de plantas daninhas

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo David Tuffi Santos

Montes Claros
Fevereiro de 2021

Ferreira, Guilherme Augusto de Paiva.

F383i
2021

Influência da intensidade de luz no controle químico de plantas daninhas [manuscrito] / Guilherme Augusto de Paiva Ferreira. Montes Claros, 2021.
73 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Leonardo David Tuffi Santos

Banca examinadora: José Barbosa dos Santos, Evander Alves Ferreira, Luan Mateus Silva Donato.

Inclui referências: f. 15-26; f. 38-41; f. 53-57; f. 68-72.

1. Capim-amargoso -- Teses. 2. Herbicidas -- Teses. 3. Jitirana -- Teses. 4. Leiteira -- Teses. 5. Sombras -- Teses. I. Santos, Leonardo David Tuffi. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU:632



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 19 dias do mês de fevereiro de 2021, às 08:00 horas, sob a Presidência do Professor Leonardo David Tuffi Santos, D. Sc. (Orientador – UFMG) e com a participação dos Professores José Barbosa dos Santos, D. Sc. (UFVJM) e Evander Alves Ferreira, D. Sc. (UFMG) e Luan Mateus Silva Donato, D. Sc. (UFMG), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de defesa de dissertação de **Guilherme Augusto de Paiva Ferreira**, aluno do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de dissertação intitulada: "**Influência da intensidade de luz no controle químico de plantas daninhas**", sendo o aluno considerado **Aprovado**. E, para constar, eu, Professor Leonardo David Tuffi Santos, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 68 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 19 de fevereiro de 2021.

Leonardo David Tuffi Santos
Orientador

José Barbosa dos Santos
Membro

Evander Alves Ferreira
Membro

Donato

Luan Mateus Silva
Membro



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo David Tuffi Santos, Diretor(a)**, em 19/02/2021, às 13:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luan Mateus Silva Donato**, Técnico em Agropecuária, em 19/02/2021, às 14:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Evander Alves Ferreira**, Professor do Magistério Superior - Visitante, em 19/02/2021, às 14:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Barbosa dos Santos**, Usuário Externo, em 19/02/2021, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador

0570142 e o código CRC **127EDB67**.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Minas Gerais, pela formação e oportunidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida.

Aos órgãos de fomento FAPEMIG e CNPq, pelo apoio financeiro e pela concessão de bolsas de estudos envolvidas neste trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Leonardo David Tuffi Santos, pela orientação e pelos ensinamentos.

Ao Laboratório de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas e aos seus integrantes, atuais e antigos. Agradecimento especial ao William Gomes (Caxeiro), Luan Donato (Luancião), Matheus Mendes (Milhouse) e ao Richardson Fernandes (Dos Teclados), que participaram de forma direta nos experimentos conduzidos.

Aos meus pais, irmãos e amigos, pelo cuidado, amor, carinho e suporte.

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE LUZ NO CONTROLE QUÍMICO DE PLANTAS DANINHAS

RESUMO

Em resposta à baixa disponibilidade luminosa em sombreamento, as plantas daninhas sofrem mudanças morfológicas e fisiológicas que podem alterar a sua sensibilidade aos herbicidas glyphosate e carfentrazone-ethyl. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da disponibilidade de luz na sensibilidade de *Merremia cissoides* e *Euphorbia heterophylla* ao glyphosate, e de *Digitaria insularis* ao glyphosate e carfentrazone-ethyl, aplicados isolados e em mistura. O sombreamento aumentou a produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e reduziu a taxa de transporte de elétrons (ETR) de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insularis*. O sombreamento também aumentou a área média das folhas de *E. heterophylla* e reduziu a taxa fotossintética (P_n), a condutância estomática (g_s) e a transpiração (E) de *D. insularis*. A aplicação de glyphosate provocou reduções na Φ_{PSII} e ETR de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insularis*, na massa seca de *M. cissoides*, na massa fresca de *E. heterophylla* e na P_n , g_s , E e massa fresca de *D. insularis*. A massa seca e a ETR de *M. cissoides* e a massa fresca, a Φ_{PSII} e a ETR de *E. heterophylla* apresentaram alta correlação negativa com o controle. O sombreamento aumentou a sensibilidade de *M. cissoides*, *E. heterophyllae* *D. insularis* ao glyphosate. A dose recomendada para o controle de *M. cissoides* aos 30 dias após a semeadura (DAS) em sombreamento foi de 270 g ha⁻¹ de glyphosate, e a pleno sol, 540 g ha⁻¹ de glyphosate. Aos 73 DAS, a dose recomendada para o seu controle em sombreamento foi de 750 g ha⁻¹ de glyphosate. Nesse estágio, a pleno sol, nenhuma das doses aplicadas foi eficiente no controle. O sombreamento promoveu reduções de 50 e 40% nas doses de controle de *M. cissoides* em comparação ao pleno sol, aos 30 e 73 DAS, respectivamente. A aplicação aos 73 dias após a semeadura aumentou a tolerância de *M. cissoides* ao glyphosate em 177,77 e 131,48% em sombreamento e a pleno sol, respectivamente. Para *E. heterophylla* cultivada em sombreamento, a dose de 1110 g ha⁻¹ de glyphosate foi eficiente, com controle superior a 90%. Porém, a pleno sol, as maiores doses testadas obtiveram níveis de controle em torno de 75%, considerados insatisfatórios. Em sombreamento, a dose recomendada para controle de *E. heterophylla* é 40% inferior à necessária a pleno sol e 50% inferior à dose recomendada pelo fabricante. Para *D. insularis* cultivada em sombreamento, a aplicação de glyphosate isolado na dose de 1920 g ha⁻¹ e em mistura com carfentrazone-ethyl nas doses 1536 + 8 e 1152 + 16 g ha⁻¹ foram eficientes no seu controle. No ambiente de 63% de sombreamento, a dose de 768 + 24 g ha⁻¹ também foi eficiente no controle dessa espécie. A pleno sol, nenhuma das doses foi eficiente para o controle de *D. insularis*, necessitando de doses maiores para o manejo dessa espécie em ambientes abertos. O carfentrazone-ethyl aplicado isolado não foi eficiente no controle de *D. insularis*, independentemente do ambiente de cultivo, e parece não ter nenhuma influência na mistura no controle dessa espécie. A intensidade de luz nos ambientes de cultivo precisa ser considerada nas recomendações de glyphosate no controle de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insularis*, como prática econômica e ambientalmente adequada no manejo integrado dessas espécies.

Palavras-chave: Capim-amargoso. Herbicida. Jitirana. Leiteira. Redução de doses. Sombreamento.

INFLUENCE OF LIGHT INTENSITY ON WEED CHEMICAL CONTROL

ABSTRACT

In response to low light availability in shading, weeds undergo morphological and physiological changes that can alter their sensitivity to glyphosate and carfentrazone-ethyl herbicides. The objective of this work was to evaluate the influence of light availability on the sensitivity of *Merremia cissoides* and *Euphorbia heterophylla* to glyphosate and *Digitaria insularis* to glyphosate and carfentrazone-ethyl, applied alone and in mixture. Shading increased the quantum yield of photosystem II (Φ_{PSII}) and reduced the electron transport rate (ETR) of *M. cissoides*, *E. heterophylla* and *D. insularis*. Shading also increased the average leaf area of *E. heterophylla* and reduced the photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (g_s) and transpiration (E) of *D. insularis*. The glyphosate application caused reductions in the Φ_{PSII} and ETR of *M. cissoides*, *E. heterophylla*, and *D. insularis*, in the dry weight of *M. cissoides*, in the fresh weight of *E. heterophylla* and the Pn, g_s , E, and fresh weight of *D. insularis*. The dry weight and ETR of *M. cissoides* and the fresh weight, Φ_{PSII} , and ETR of *E. heterophylla* showed a high negative correlation with the control. Shading increased the sensitivity of *M. cissoides*, *E. heterophylla*, and *D. insularis* to glyphosate. The recommended dose for the control of *M. cissoides* at 30 days after sowing (DAS) in shading was 270 g ha⁻¹ of glyphosate, and in full sunlight, 540 g ha⁻¹ of glyphosate. At 73 DAS, the recommended dose for its shading control was 750 g ha⁻¹ of glyphosate. At this stage, in full sunlight, none of the applied doses were efficient in the control. Shading promoted a reduction of 50 and 40% in the *M. cissoids* control doses compared to full sunlight, at 30 and 73 DAS, respectively. The application at 73 DAS increased the tolerance of *M. cissoides* to glyphosate by 177.77 and 131.48% in shading and full sunlight, respectively. For *E. heterophylla* grown in the shade, the dose of 1110 g ha⁻¹ of glyphosate was efficient, with a control greater than 90%. However, in full sunlight, the highest doses tested achieved control levels around 75%, considered unsatisfactory. In shading, the recommended dose for *E. heterophylla* control is 40% lower than that required in full sunlight and 50% lower than the dose recommended by the manufacturer. For *D. insularis* grown in shading, the application of glyphosate alone at a dose of 1920 g ha⁻¹ and in a mixture with carfentrazone-ethyl at doses 1536 + 8 and 1152 + 16 g ha⁻¹ was efficient in its control. In the 63% shading environment, the dose of 768 + 24 g ha⁻¹ was also efficient in controlling this species. In full sunlight, none of the doses were effective for *D. insularis* control, requiring higher doses for managing this species in open environments. Carfentrazone-ethyl applied alone was not efficient in *D. insularis* control regardless of the culture environment and seemed not to influence the mixture in the control of this species. The light intensity in the cultivation environments needs to be considered in the glyphosate recommendations in the control of *M. cissoides*, *E. heterophylla*, and *D. insularis* as an economically and environmentally adequate practice in the integrated management of these species.

Keywords: Dose reduction. Herbicide. Morning glory. Shading. Sourgrass. Wild poinsettia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo geral	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 Herbicidas aplicados em pós-emergência das plantas daninhas	9
3.2 Glyphosate	10
3.3 Carfentrazone-ethyl	11
3.4 Influência da luz na anatomia, na fisiologia e no crescimento das plantas e sua relação com a eficiência de controle de herbicidas aplicados em pós-emergência.....	12
3.5 <i>Merremia cissoides</i> (Lam.) Hallier f., <i>Euphorbia heterophylla</i> L. e <i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde	13
3.6 Referências	15
4 ARTIGOS	27
4.1 Artigo 1 - Adequação de doses de glyphosate no controle de <i>Merremia cissoides</i> (Lam.) Hallier f. em função da intensidade de luz.....	27
4.2 Artigo 2 - Doses de glyphosate podem ser menores em ambientes sombreados para o controle de <i>Euphorbia heterophylla</i> L.....	42
4.3 Artigo 3 - Controle de <i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde em florestas de eucalipto: o sombreamento aumenta a sensibilidade ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73

1 INTRODUÇÃO

O controle químico é a principal forma de manejo de plantas daninhas. Entretanto, as recomendações de doses de herbicidas usados em pós-emergência das plantas daninhas são baseadas em poucas informações, o que pode levar à aplicação de doses inadequadas. Para realizar essa recomendação, o técnico leva em consideração, na bula de produtos comerciais, as espécies infestantes de maior importância na área e o estágio de crescimento das plantas. Porém, fatores ambientais podem influenciar na sensibilidade das plantas aos herbicidas e alterar a dose necessária para se obter um controle eficaz.

A luz, fator de produção essencial nos sistemas naturais e agrícolas, possui um papel importante na morfologia e na fisiologia das plantas. Em ambientes sombreados, para se adaptarem a situações de baixa intensidade luminosa, as plantas apresentam mudanças morfológicas e fisiológicas que podem contribuir para maior captação e absorção dos herbicidas. Nesses ambientes, os herbicidas podem se tornar mais eficientes mesmo em doses mais baixas, contribuindo para mitigar os custos de controle e o impacto ambiental negativo atribuído a sua utilização.

A relação entre a incidência da luz e o controle químico de plantas daninhas é importante proposta de pesquisa no manejo integrado. *Merremia cissoides*, *Euphorbia heterophylla* e *Digitaria insularis* são consideradas plantas daninhas em diversas culturas, com importância variável em função do seu porte, da distribuição na área e dos estágios de desenvolvimento de cada espécie cultivada. O controle químico dessas plantas é feito considerando o estágio da espécie infestante em faixas de doses padronizadas pelo fabricante, sem considerar fatores ambientais como, por exemplo, a disponibilidade de luz.

Entre os herbicidas usados, o glyphosate é o mais utilizado no mundo e comumente empregado no manejo de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insularis*. O Carfentrazone-ethyl é um herbicida importante no manejo de algumas espécies tolerantes e resistentes ao glyphosate e é utilizado em misturas com esse herbicida no manejo de várias espécies de plantas daninhas, folhas largas e gramíneas. O entendimento do efeito da luz sobre eventual redução de doses de glyphosate, aplicado isolado e em mistura no efetivo controle dessas plantas daninhas, permitirá a diminuição dos custos de produção e dos impactos negativos no ambiente e na sociedade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar condições de disponibilidade de luz sobre a sensibilidade de *Merremia cissoides* e *Euphorbia heterophylla* ao glyphosate, e de *Digitaria insularis* ao glyphosate e ao carfentrazone-ethyl, aplicados isolados ou em mistura.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a fisiologia de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insularis* a pleno sol e em sombreamento.

Avaliar a fisiologia de *M. cissoides* e de *E. heterophylla* após aplicação de glyphosate, e de *D. insularis* após aplicação de glyphosate e carfentrazone-ethyl, isolados ou em mistura, a pleno sol e em sombreamento.

Avaliar as respostas de controle de *M. cissoides* e *E. heterophylla* ao glyphosate e de *D. insularis* ao glyphosate e carfentrazone-ethyl, aplicados isolados e em mistura, a pleno sol e em sombreamento, e definir as melhores doses de controle dessas espécies nos diferentes ambientes de cultivo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Herbicidas aplicados em pós-emergência das plantas daninhas

Os herbicidas aplicados em pós-emergência das plantas daninhas são absorvidos principalmente pelas folhas e pelos caules não lignificados. Nessa forma de aplicação, a literatura considera a espécie infestante e o estágio de desenvolvimento das plantas para definir e recomendar doses de controle (BARNES *et al.*, 2020; MEYER; NORSWORTHY, 2019).

Muitos herbicidas importantes, como o glyphosate e o carfentrazone-ethyl, são utilizados em pós-emergência das plantas daninhas (DIAS *et al.*, 2019; HENRY *et al.*, 2019; MEYER; NORSWORTHY, 2019). Para que esses herbicidas exerçam sua ação tóxica é necessário que eles sejam absorvidos pela planta, transloquem até o seu sítio de ação e o atinja na concentração e na forma tóxica adequada, por um período de tempo suficiente (HESS; FALK, 1990). Porém, quando em contato com as folhas, os herbicidas aplicados em pós-emergência precisam transpor algumas barreiras até o seu sítio de ação, como, por exemplo, a cutícula das plantas (HESS; FALK, 1990; KIRKWOOD, 1999). O desenvolvimento dessas barreiras e os processos de absorção e translocação podem ser influenciados pela temperatura, luz, umidade relativa e umidade no solo e alterar a eficiência dos herbicidas no controle de plantas daninhas (COSTA *et al.*, 2018; GIESE, 1975; GODDARD *et al.*, 2010; SHARPE *et al.*, 2018).

Além dos problemas decorrentes da baixa eficiência dos herbicidas no controle de espécies infestantes, advindos de condições ambientais ou mesmo de características morfofisiológicas da espécie, ao longo dos anos, o número de casos de resistência tem crescido (HEAP, 2021), sendo a maior parte desses casos referentes a moléculas aplicadas em pós-emergência das plantas daninhas (SOMERVILLE *et al.*, 2017). O aparecimento ou a expressão dos casos de resistência é resultado de intensa pressão de seleção exercida pelos herbicidas aplicados, que permite que indivíduos naturalmente resistentes aumentem sua frequência dentro de uma população (JASIENIUK *et al.*, 1996). Práticas como a utilização de um mesmo mecanismo de ação por vários anos consecutivos, a não integração de outros métodos de manejo e o uso de doses incorretas, sobretudo de altas doses, aumentam a pressão de seleção e reduzem o tempo de surgimento da resistência (JASIENIUK *et al.*, 1996). O aumento no número de casos de resistência e a falta de herbicidas com novos mecanismos de ação no mercado têm preocupado a comunidade científica mundial (BECKIE *et al.*, 2020; DUKE, 2012).

A adoção de estratégias como rotação e misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, análises econômicas de controle, monitoramento da mudança populacional de plantas daninhas e adoção de outros métodos de manejo pode ajudar a atrasar o surgimento da resistência ou mesmo auxiliar no manejo de biótipos já resistentes (SHANE FRIESEN; FERGUSON; CHRISTOPHER HALL, 2000).

A contaminação ambiental pelo uso de herbicidas é tema que também tem ganhado destaque. Durante as aplicações de pesticidas, grande parte do ingrediente ativo não atinge o alvo e é perdido, contaminando o ambiente e organismos não alvo (COMBELLACK, 1982; GARCERÁ *et al.*, 2017; GISH *et al.*, 2011). Várias pesquisas ao redor do mundo têm identificado a presença de herbicidas no solo e na água e alertado sobre esses problemas (HVĚZDOVÁ *et al.*, 2018; MAC LOUGHLIN *et al.*, 2020; MEDALIE *et al.*, 2020; PENG *et al.*, 2018).

Diante desse cenário de aumento da resistência, redução das opções de manejo químico e contaminação ambiental, é necessário criar estratégias que permitam o uso racional e correto de herbicidas, principalmente os aplicados em pós-emergência das plantas daninhas.

3.2 Glyphosate

O glyphosate (N-(fosfometil) glicina) é um herbicida aplicado em pós-emergência, sistêmico, não seletivo, de amplo espectro de ação, baixa toxicidade a mamíferos e baixo impacto ambiental (DUKE; POWLES, 2008; MEFTAUL *et al.*, 2020). Em função dessas características e do advento dos transgênicos resistentes ao seu mecanismo de ação, esse herbicida se tornou o mais utilizado no mundo (BENBROOK, 2016; DUKE; POWLES, 2008).

O mecanismo de ação do glyphosate consiste na inibição da enzima cloroplastídica 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase – EPSPs (GOMES *et al.*, 2014; STEINRÜCKEN; AMRHEIN, 1980). Após a inibição, ocorre a paralisação da conversão de chiquimato em corismato, resultando em acúmulo do precursor nos tecidos das plantas (AMRHEIN *et al.*, 1980; BATISTA *et al.*, 2018). Essa rota metabólica do ácido chiquímico é responsável pela produção dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, os quais, por sua vez, são precursores de compostos importantes para as plantas, como alcaloides, fitoalexinas, auxina, quinonas, flavonoides, taninos e ligninas (MAEDA; DUDAREVA, 2012). Devido aos vários compostos essenciais que são oriundos dessa rota, ao ser inibida, diferentes distúrbios são provocados na planta, e a depender da dose do herbicida, ocasionam a morte dos indivíduos sensíveis.

O glyphosate é rapidamente absorvido pelas folhas e translocado principalmente via floema para raízes e pontos de crescimento das plantas (KIRKWOOD *et al.*, 2000; MCALLISTER; HADERLIE, 1985; TUFFI SANTOS *et al.*, 2008). As raízes e os tecidos meristemáticos localizados nos pontos de crescimento são mais sensíveis à atividade do herbicida (FENG *et al.*, 2003), tornando as adequadas absorção e translocação do glyphosate fundamentais para boa ação do produto. Reduções nessas variáveis diminuem a eficiência de controle do glyphosate (VILA-AIUB *et al.*, 2012), em virtude da menor quantidade de ingrediente ativo que atinge os seus principais pontos de ação na planta.

O mecanismo de ação do glyphosate, em comparação com outros herbicidas, possui baixo potencial de seleção de biótipos de plantas resistentes (BRADSHAW *et al.*, 1997). Entretanto, baixo potencial de seleção aliado ao uso intensivo do herbicida aumenta o risco de seleção, tornando o glyphosate um dos herbicidas de maior preocupação em relação ao desenvolvimento de resistência (DUKE; POWLES, 2008). Existem atualmente cerca de 52 espécies e 331 biótipos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate registrados na Weed Science (HEAP, 2021). Os mecanismos de resistência dessas plantas estão relacionados a mutações e amplificação gênica da enzima EPSPs, compartimentalização, redução da absorção e da translocação do glyphosate (SHANER *et al.*, 2011).

Uma das estratégias utilizadas para reduzir a pressão de seleção de plantas daninhas resistentes ao glyphosate e manejar plantas já resistentes é utilizar misturas de glyphosate com herbicidas de diferentes mecanismos de ação (CRUZ *et al.*, 2019; CULPEPPER, 2006). Dentre as diversas possibilidades, misturas de glyphosate com herbicidas inibidores da PROTOX têm se mostrado eficientes, com casos de efeitos aditivos e sinérgicos no controle de várias plantas daninhas (MACIEL *et al.*, 2011, RAMIRES *et al.*, 2010, WERLANG; SILVA, 2002).

O uso em larga escala do glyphosate tem causado problemas ao meio ambiente, mesmo sendo considerado um herbicida de baixo risco ambiental. O glyphosate é fortemente adsorvido pelos colóides do solo, apresentando baixas taxas de dessorção (AL-RAJAB *et al.*, 2008). A intensidade dessa adsorção é dependente do pH e do teor de argila, variando entre diferentes tipos de solos (GERÓNIMO *et al.*, 2018). Além da adsorção, o glyphosate é metabolizado no solo pela ação de microrganismos, dando origem ao seu principal metabólito, o ácido aminometilfosfônico (AMPA), que também pode ser degradado (RUEPPEL *et al.*, 1977). Em função da alta adsorção e metabolização do herbicida, sua mobilidade no solo é baixa, e o risco de contaminação ambiental é considerado baixo. Entretanto, apesar do baixo impacto ambiental, o uso em larga escala fez com que o glyphosate e o AMPA fossem identificados no solo e em corpos d'água em vários lugares do mundo (BATTAGLIN *et al.*, 2014; FERNANDES *et al.*, 2019; LUPI *et al.*, 2019; MEDALIE *et al.*, 2020; VAN STEMPTVOORT *et al.*, 2016).

O uso intensivo do glyphosate também apresenta impactos negativos sobre a contaminação de seres humanos (AGOSTINI *et al.*, 2020), alimentos (GÉLINAS *et al.*, 2018, ZOLLER *et al.*, 2018) e organismos não alvo (DUPONT *et al.*, 2018, FERNANDES *et al.*, 2019, LEITE *et al.*, 2019) provocando questionamentos pela sociedade. Todos esses problemas se relacionam em parte à quantidade do produto utilizado nas aplicações. Uma alternativa para diminuir os impactos negativos do uso dessa molécula seria a redução de doses utilizadas ou a adequação do uso do produto conforme a necessidade e o ambiente.

O glyphosate desempenha um papel importante na agricultura mundial. Como visto anteriormente, fatores ambientais podem interferir em aspectos importantes na ação de herbicidas aplicados em pós-emergência e alterar a sua eficiência. Considerar outros fatores na definição de doses de glyphosate pode resultar em manejos menos generalistas e mais assertivos, aumentando a vida útil do produto e reduzindo o seu impacto ambiental e social.

3.3 Carfentrazone-ethyl

O carfentrazone-ethyl é um herbicida pertencente ao grupo químico das triazolinonas que atua na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), presente nos cloroplastos e mitocôndrias das plantas (MATRINGE *et al.*, 1989). Essa enzima é responsável pela transformação do protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, molécula precursora na síntese de heme e clorofila (JACOBS; JACOBS; DE MAGGIO, 1982). Após a inibição, o protoporfirinogênio IX é exportado dos cloroplastos para o citoplasma das células (JACOBS; JACOBS, 1993). No citoplasma, o protoporfirinogênio IX é oxidado a protoporfirina IX, pela ação da enzima análoga a PROTOX localizada em sítios da membrana plasmática, que é menos sensível à ação dos herbicidas do grupo das triazolinonas em comparação à enzima PROTOX encontrada nos cloroplastos e mitocôndrias (JACOBS; JACOBS, 1993; JACOBS *et al.*, 1991). No citoplasma, a protoporfirina IX não pode ser consumida, porque as enzimas Mg-quelatase e Fe-quelatase que usam a protoporfirina IX como substrato na produção de clorofila e heme, respectivamente, estão presentes apenas nos cloroplastos e mitocôndrias. A protoporfirina IX é uma molécula muito reativa, que, na presença de luz e oxigênio, reage produzindo oxigênio singleto e radicais livres que peroxidam os lipídeos constituintes de membranas, causando morte celular (KOUJI; MASUDA; MATSUNAKA, 1998; ORR; HESS, 1982). Os herbicidas inibidores da PROTOX também inibem a síntese de clorofila, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento de plantas jovens. A ação do herbicida

na presença de luz é rápida, o que limita sua translocação na planta, sendo considerado um herbicida de contato.

O carfentrazone-ethyl é um herbicida importante no manejo de plantas daninhas tolerantes e resistentes ao glyphosate, como *Commelina benghalensis*, *Commelina villosa* (ROCHA *et al.*, 2007), *Commelina erecta* (FERREIRA *et al.*, 2017), *Ipomoea nil*, *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea grandifolia*, *Ipomoea quamoclit* (CHRISTOFFOLET *et al.*, 2006) e *Euphorbia heterophylla* (CARVALHO *et al.*, 2001). É comumente aplicado em mistura com glyphosate e outros herbicidas no manejo de plantas daninhas, podendo apresentar bons resultados de controle (FERREIRA *et al.*, 2017; MACIEL *et al.*, 2011; MOREIRA *et al.*, 2010; ROCHA *et al.*, 2007; WERLANG; SILVA, 2002). Entretanto, essa interação entre os herbicidas é dependente da espécie, do estágio de crescimento das plantas e das doses utilizadas na mistura. Resultados insatisfatórios de controle entre misturas de carfentrazone-ethyl com glyphosate e outros herbicidas também são observados (MOREIRA *et al.*, 2010; WERLANG; SILVA, 2002).

O carfentrazone-ethyl, assim como o glyphosate, é um importante herbicida nos cultivos de eucalipto no Brasil, sendo uma das poucas moléculas registradas para uso na cultura (AGROFIT, 2021) e aceitos pelas certificadoras (FSC, 2019). Em boa parte do ciclo de cultivo do eucalipto, a aplicação de herbicidas é feita em condições de restrição luminosa, não sendo conhecido o efeito desse ambiente sobre a ação do glyphosate utilizado isoladamente ou em mistura com carfentrazone-ethyl.

3.4 Influência da luz na anatomia, na fisiologia e no crescimento das plantas e sua relação com a eficiência de controle de herbicidas aplicados em pós-emergência

A luz pode estar disponível para as plantas de forma direta ou difusa, dependendo do seu ambiente de crescimento. Em sistemas naturais e agrícolas, esse gradiente de luz acontece tanto entre dosséis de plantas diferentes quanto dentro de um mesmo dossel (ZHANG *et al.*, 2014), de forma que a maioria das plantas vivencia restrições de luz em algum período do seu ciclo (VALLADARES; NIINEMETS, 2008).

Em ambientes com baixa disponibilidade luminosa, há redução da radiação disponível com aumento das proporções de luz nos comprimentos de onda vermelho distante e verde, e redução nos comprimentos de onda vermelha e azul (FOLTA; MARUHNICH, 2007). Essa redução na relação entre o vermelho e o vermelho distante é percebida pelas plantas através de fotorreceptores conhecidos como fitocromos, que se convertem da forma ativa para a forma inativa (HOLMES; SMITH, 1975; SMITH; HOLMES, 1977), desencadeando mudanças adaptativas de escape ou tolerância ao sombreamento (GOMMERS *et al.*, 2013; PIERIK; WIT, 2014). Em ambas as estratégias, mudanças anatômicas, morfológicas e fisiológicas são observadas.

De modo geral, o sombreamento reduz a espessura das folhas (AJMI *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2015; TERASHIMA *et al.*, 2006) e dos parênquimas paliçádico e esponjoso (SANTOS *et al.*, 2015), a frequência e a área do ostíolo dos estômatos por unidade de área foliar (AJMI *et al.*, 2018; FAN *et al.*, 2013), a condutância estomática, a transpiração e a taxa fotossintética (AJMI *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2007), a deposição de cera na superfície das folhas (COSTA *et al.*, 2020; GIESE, 1975) e aumenta o índice de área foliar (AJMI *et al.*, 2018; YAO *et al.*, 2016). Em sombreamento, as plantas se tornam mais eficientes na utilização da luz, apresentando maior produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}),

fluorescência variável (F_v/F_m), *quenching* fotoquímico (qP) e diminuindo o *quenching* não fotoquímico – NPQ (HAZRATI *et al.*, 2016; SONG; LI, 2016).

O sombreamento também altera a partição e a alocação de matéria seca nas plantas, priorizando o crescimento da parte aérea em função do crescimento de raízes (ARTRU *et al.*, 2018, SEVILLANO *et al.*, 2016). Na parte aérea, é comum o aumento da elongação do hipocótilo, internódios, pecíolo e epinastia de folhas (HALLIDAY *et al.*, 1994; KEUSKAMP *et al.*, 2010; WHITELAM; JOHNSON, 1982). As atividades de enzimas importantes no processo fotossintético e na proteção da planta contra radicais livres, como a Rubisco e a peroxidase, respectivamente, são reduzidas em sombreamento (HUSSAIN *et al.*, 2019a; LEE *et al.*, 2007).

Plantas crescidas em ambientes com restrição de luz tendem a ser mais sensíveis à ação do herbicida glyphosate, como já relatado para as espécies *Macroptilium atropurpureum* (COSTA *et al.*, 2018), *Commelina benghalensis* e *Cyperus rotundus* (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2013), e ao herbicida saflufenacil, um inibidor da PROTOX, em *Commelina benghalensis* (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2019). Porém, os fatores envolvidos na maior sensibilidade em sombreamento ainda não estão esclarecidos. Além disso, a influência da luz nas plantas é variável. As mudanças morfológicas e fisiológicas provocadas pela luz são dependentes da sua intensidade e qualidade (FAN *et al.*, 2013; HEO *et al.*, 2006), e, dependendo de como esses fatores são empregados nos estudos, mudanças contrárias às citadas podem ser observadas (LI *et al.*, 2010; MU *et al.*, 2010). As mudanças também variam conforme a espécie e sua capacidade de adaptação (GOMMERS *et al.*, 2013; PIERIK; WIT, 2014).

A utilização de variáveis relacionadas à fluorescência da clorofila (Φ_{PSII} , F_v/F_m , qP, NPQ, etc.) pode ajudar a entender os efeitos da interação luz x herbicidas. Utilizadas na identificação de estresses relacionados ao aparato fotossintético e diretamente relacionadas à luz, a fluorescência da clorofila tem sido empregada em estudos envolvendo herbicidas como uma técnica rápida e não evasiva na detecção de estresses (HUANG *et al.*, 2012).

Caracterizar o sombreamento nos sistemas naturais e agrícolas e estudar a sua influência na resposta de plantas daninhas a herbicidas é fundamental para a inclusão desse fator na recomendação de doses de herbicidas e a definição das melhores estratégias de manejo de plantas daninhas.

3.5 *Merremia cissooides* (Lam.) Hallier f., *Euphorbia heterophylla* L. e *Digitaria insularis* (L.) Fedde

M. cissooides, conhecida popularmente como jitirana ou corda de viola branca, é uma planta anual, herbácea, vigorosa, de crescimento volúvel e reprodução por sementes (LORENZI, 2014). As folhas são alternadas, compostas, formadas por 5 folíolos, que podem ser glabros ou pubescentes, e seu caule é cilíndrico, pubescente, podendo atingir de 1 a 3 m de comprimento (LORENZI, 2014). Espécie nativa da América tropical, a *M. cissooides* é considerada uma importante planta daninha e está presente em países como Estados Unidos (USDA, 2020) e Brasil (AGROFIT, 2020). Ela acomete culturas anuais e perenes, como cana-de-açúcar (KUVA *et al.*, 2007), milho (TAVELLA *et al.*, 2015), soja (TIMOSSI; DURIGAN, 2006), eucalipto (CARBONARI *et al.*, 2010) e café (GAVILANES *et al.*, 1989).

As sementes de *M. cissooides* possuem dormência, causada principalmente pela impermeabilidade do tegumento a água (AZANIA *et al.*, 2003). Essa dormência pode ser quebrada através da escarificação com ácido sulfúrico, fogo, água quente e calor (AZANIA *et al.*, 2003). O aumento da profundidade de semeadura e a presença de palha sobre o solo reduz a emergência e o índice de velocidade de

emergência em *M. cissoides* (LABONIA *et al.*, 2009). Após a emergência, apresenta taxas de crescimento relativa e absoluta máxima aos 50 e 90 dias após a semeadura, respectivamente (CAMPOS *et al.*, 2012). Embora o crescimento de *M. cissoides* seja considerado lento, se não controlada, reduz significativamente os parâmetros produtivos da cana-de-açúcar (ALVES *et al.*, 2018), principal cultura afetada por essa espécie.

Os herbicidas amicarbazone, imazapic, sulfentrazone, tebuthiuron, mesotrione, saflufenacil (RIBEIRO *et al.*, 2018) e flumioxazin (NICOLAI *et al.*, 2013) aplicados em pré-emergência, e os herbicidas saflufenacil (MONQUERO *et al.*, 2011) e paraquat (BARRETO *et al.*, 2017) aplicados em pós-emergência, nas doses 187; 90; 300; 200; 60; 12; 30; 33; 50 e 300 g ha⁻¹ de ingrediente ativo, respectivamente, são eficientes no controle de *M. cissoides*. A aplicação de glyphosate na dose de 3 L ha⁻¹ também é eficiente no seu controle (BARRETO *et al.*, 2017).

Euphorbia heterophylla, popularmente conhecida como leiteira ou amendoim bravo, é uma planta anual, lactescente, ereta, pouco ramificada, de 30 a 80 cm de altura e propagada por sementes (LORENZI, 2014). Suas folhas são glabras ou levemente pubescentes, de forma bastante variável, com margens inteiras ou recortadas (LORENZI, 2014). Espécie nativa da América tropical e subtropical, *E. heterophylla* está presente em mais de 37 países, acometendo diversas culturas, anuais e perenes (WILSON, 1981).

O rápido crescimento inicial de *E. heterophylla* (WILSON, 1981) e sua capacidade de germinar sob variadas condições de estresse (BRECKE, 1995), conjuntamente, são as principais características que a tornam problema em áreas cultivadas. *E. heterophylla* apresenta altos índices de germinação e emergência quando suas sementes são submetidas a amplitudes de pH e temperatura de 2,5 a 10 e 20 a 40° C, respectivamente, potencial hídrico de até -0,8 MPa e emergência quando as sementes são plantadas até 14 cm de profundidade (BRECKE, 1995). A utilização de métodos de controle físico, como a adição de palhada sobre o solo, não possui boa eficiência na redução da infestação dessa espécie (BITTENCOURT *et al.*, 2013).

Além dos problemas relacionados à competição, *E. heterophylla* é hospedeira de patógenos, como o begomovirus *Euphorbia mosaic virus* que infecta culturas de tomate (ZAMBRANO; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ; MARYS, 2012) e maracujá (POLSTON *et al.*, 2017), e apresenta problemas de controle com casos de resistência ao glyphosate (AGOSTINETTO *et al.*, 2017; ULGUIM *et al.*, 2017; VIDAL *et al.*, 2007), resistência cruzada aos herbicidas inibidores da ALS (GELMINI *et al.*, 2005) e resistência múltipla aos herbicidas inibidores da ALS e PPO (TREZZI *et al.*, 2005).

As principais barreiras foliares à penetração de pesticidas em *E. heterophylla* são o alto teor de cera epicuticular, a elevada densidade de laticíferos e a grande espessura da cutícula da face adaxial (FERREIRA *et al.*, 2003).

Digitaria insularis, conhecida popularmente como capim amargoso, é uma planta perene, herbácea e de crescimento cespitoso, formando pequenas touceiras de 50 a 100 cm de altura (LORENZI, 2014). Reproduz-se por sementes e rizomas (LORENZI, 2014). As sementes de *D. insularis* são fotoblásticas neutras (MARTINS; BARROSO; ALVES, 2017) e apresentam redução na germinação com a redução do potencial osmótico do solo e aumento da salinidade, e redução da emergência com o aumento da profundidade de semeadura (ZAMBÃO *et al.*, 2020). O potencial osmótico de -0,8 Mpa e a

salinidade de 200 mM inibem totalmente a germinação das sementes e a semeadura em profundidades acima de 7,6 cm impedem a sua emergência (ZAMBÃO *et al.*, 2020).

D. insularis apresenta crescimento lento até aos 45 dias após emergência (DAE), e rápido entre os 45 e 105 DAE (MACHADO *et al.*, 2006). Até aos 49 DAE, *D. insularis* apresenta baixo acúmulo de massa seca e macro nutrientes, aumentando esses acúmulos a partir dos 77 DAE (CARVALHO; BIANCO; BIANCO, 2013). Plantas de *D. insularis* oriundas de sementes e rizomas apresentam diferenças anatômicas (MACHADO *et al.*, 2008), o que pode alterar a sensibilidade das plantas a herbicidas, em função do seu material de propagação.

D. insularis é uma planta considerada daninha em áreas urbanas (GAZOLA *et al.*, 2019) e em culturas de milho (GONÇALVES *et al.*, 2015), soja (GAZZIERO *et al.*, 2019), eucalipto (SOUZA *et al.*, 2010; TUFFI SANTOS *et al.*, 2013), feijão-caupi (NETO *et al.*, 2019), café (CARVALHO *et al.*, 2013) e pastagens (CHADHOKAR, 1976). Considerada uma espécie de difícil controle, possui biótipos resistentes ao glyphosate e resistência cruzada a herbicidas inibidores da ACCase (CARVALHO *et al.*, 2011, GAZOLA *et al.*, 2019, TAKANO *et al.*, 2018, 2020).

Os experimentos de controle disponíveis na literatura com essas espécies foram conduzidos a pleno sol, sob diferentes disponibilidades de luz, conforme a localização de cada ensaio. O comportamento e o controle de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insularis* em ambientes sombreados ainda permanecem desconhecidos. Essa é uma característica fundamental na definição da melhor estratégia de manejo dessas espécies nos mais diversos ambientes em que estão presentes.

3.6 Referências

AGOSTINETTO, D.; ULGUIM, A. R.; VARGAS, L.; SILVA, J. D. G.; LANGARO, A. C. Morphophysiological characterization of wild poinsettia biotypes with low resistance to glyphosate. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 987-996, 2017.

AGOSTINI, L. P.; DETTOGNI, R. S.; REIS, R. S.; STUR, E.; SANTOS, E. V. W.; VENTORIM, D. P.; GARCIA, F. M.; CARDOSO, R. C.; GRACELI, J. B.; LOURO, I. D. Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies. **Science of the Total Environment**, v. 705, n. 25, 2020.

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil** - 2021. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 19 jan. 2021.

AJMI, A.; VÁZQUEZ, S.; MORALES, F.; CHAARI, A.; EL-JENDOUBI, H.; ABADÍA, A.; LARBI, A. Prolonged artificial shade affects morphological, anatomical, biochemical and ecophysiological behavior of young olive trees (cv. Arbosana). **Scientia Horticulturae**, v. 241, p. 275-284, 2018.

AL-RAJAB, A. J.; AMELLAL, S.; SCHIAVON, M. Sorption and leaching of ¹⁴C-glyphosate in agricultural soils. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 28, p. 419-428, 2008.

ALVES, F. C.; BIANCO, S.; NEPOMUCENO, M. P.; MARTINS, J. V. F.; ALVES, P. L. C. A. Shoot and root interference of morning glory on the initial growth of sugarcane. **Anais da Academia Brasileira de**

Ciencias, v. 90, n. 1, p. 521-528, 2018.

AMRHEIN, N.; DEUS, B.; GEHRKE, P.; STEINRÜCKEN, H. C. The Site of the Inhibition of the Shikimate Pathway by Glyphosate. **Plant Physiology**, v. 66, n. 5, p. 830-834, 1980.

ARTRU, S.; LASSOIS, L.; VANCUTSEM, F.; REUBENS, B.; GARRÉ, S. Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 97, p. 38-47, 2018.

AZANIA, A. A. P. M.; AZANIA, C. A. M.; PAVANI, M. C. M. D.; CUNHA, M. C. S. Métodos de superação de dormência em sementes de *Ipomoea* e *Merremia*. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 203-209, 2003.

BARNES, E. R.; KNEZEVIC, S. Z.; LAWRENCE, N. C.; IRMAK, S.; RODRIGUEZ, O.; JHALA, A. J. Control of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) at two heights with POST herbicides in Nebraska popcorn. **Weed Technology**, v. 34, n. 4, p. 560-567, 2020.

BARRETO, L. F.; DECARO, R. A.; SILVA, M. G.; GRIESANG, F.; FERREIRA, M. D. C. Efeito do paraquat e glyphosate sobre espécimes de poaceae e convolvulaceae em condições de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 198-205, 2017.

BATISTA, P. F.; COSTA, A. C.; MEGGUER, C. A.; LIMA, J. S.; SILVA, F. B.; GUIMARÃES, D. S.; ALMEIDA, G. M.; NASCIMENTO, K. J. T. *Pouteria torta*: A native species of the Brazilian Cerrado as a bioindicator of glyphosate action. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 2, p. 296-305, 2018.

BATTAGLIN, W. A.; MEYER, M. T.; KUIVILA, K. M.; DIETZE, J. E. Glyphosate and Its Degradation Product AMPA Occur Frequently and Widely in U.S. Soils, Surface Water, Groundwater, and Precipitation. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 50, n. 2, p. 275-290, 2014.

BECKIE, H. J.; ASHWORTH, M. B.; FLOWER, K. C. The global challenge of field crop production with limited herbicides: An Australian perspective. **Weed Research**, v. 0, p. 1-4, 2020.

BENBROOK, C. M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. **Environmental Sciences Europe**, v. 28, n. 3, p. 1-15, 2016.

BITTENCOURT, H. H.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J.; LANA, M. A.; ALTIERI, M. A.; COSTA, M. D.; GOMES, J. C. Effect of Winter Cover Crop Biomass on Summer Weed Emergence and Biomass Production. **Journal of Plant Protection Research**, v. 53, n. 3, p. 248-252, 2013.

BRADSHAW, L. D.; PADGETTE, S. R.; KIMBALL, S. L.; WELLS, B. H. Perspectives on Glyphosate Resistance. **Weed Technology**, v. 11, n. 1, p. 189-198, 1997.

BRECKE, B. J. Wild Poinsettia (*Euphorbia heterophylla*) Germination and Emergence. **Weed Science**, v. 43, n. 1, p. 103-106, 1995.

CAMPOS, L. H. F.; MELLO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J.

Crescimento Inicial de *Merremia cissoides*, *Neonotonia wightii* e *Stizolobium aterrimum*. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 497-504, 2012.

CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; SILVA, J. R. M.; BENTIVENHA, S. R. P.; TAKAHASHI, E. N. Eficácia da utilização de grânulos de argila como veículo para a aplicação aérea de sulfentrazone e isoxaflutole em área de implantação de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 207-212, 2010.

CARVALHO, F. T.; CAETANO, L.; PERUCHI, M.; PALAZZO, R. R. B. Influência do cálcio na calda de pulverização sobre a eficácia do carfentrazone-ethyl no controle de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 19, n. 1, p. 97-101, 2001.

CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. C. A.; BIANCO, S. Densidades de capim-amargoso afetando o crescimento inicial e o teor de macronutrientes do cafeeiro. **Planta Daninha**, v. 31, p. 109-115, 2013.

CARVALHO, L. B.; BIANCO, M. S.; BIANCO, S. Acúmulo de massa seca e macronutrientes em plantas de capim-amargoso. **Planta Daninha**, v. 31, n. 4, p. 785-792, 2013.

CARVALHO, L. B.; CRUZ-HIPOLITO, H.; GONZÁLEZ-TORRALVA, F.; COSTA AGUIAR ALVES, P. L.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; PRADO, R. Detection of Sourgrass (*Digitaria insularis*) Biotypes Resistant to Glyphosate in Brazil. **Weed Science**, v. 59, p. 171-176, 2011.

CHADHOKAR, P. A. Control of *Digitaria insularis* (L.) mez in tropical pastures. **PANS**, v. 22, p. 79-85, 1976.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; BORGES, A.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; MONQUERO, P. A. Carfentrazone-ethyl applied in post-emergence to control *Ipomoea* spp. and *Commelina benghalensis* in sugarcane crop. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 83-90, 2006.

COMBELLACK, J. H. Loss of herbicides from ground sprayers. **Weed Research**, v. 22, n. 4, p. 193-204, 1982.

COSTA, G. A.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, G. A. P.; CRUZ, L. R.; MACHADO, V. D.; ROCHA, L. M. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 819-824, 2018.

COSTA, G. A.; TUFFI-SANTOS, L. D.; SANTOS, S. A.; CRUZ, L. R.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; SANTOS, I. T.; TANAKA, F. A. O. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. **South African Journal of Botany**, v. 131, p. 302-309, 2020.

CRUZ, A. R.; DOMÍNGUEZ-MARTÍNEZ P. A.; SILVEIRA H. M.; CRUZ-HIPÓLITO, H. E.; PALMA-BAUTISTA, C.; VÁZQUEZ-GARCÍA, J. G.; DOMÍNGUEZ-VALENZUELA, J. A.; DE PRADO, R. Management of Glyphosate-Resistant Weeds in Mexican Citrus Groves: Chemical Alternatives and Economic Viability. **Plants**, v. 325, n. 8, p. 1-13, 2019.

CULPEPPER, A. S. Glyphosate-Induced Weed Shifts. **Weed Technology**, v. 20, n. , p. 277-281, 2006.

DIAS, J. L. C. S.; DUARTE, G. E.; COLOMBO, W. L.; SELLERS, B. A. Cadillo (*Urena lobata*) control with POST herbicides. **Weed Technology**, v. 33, n. 3, p. 387-392, 2019.

DUKE, S. O. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?. **Pest Management Science**, v. 68, n. 4, p. 505-5012, 2012.

DUKE, S. O; POWLES, S. B. Glyphosate: A once-in-a-century herbicide. **Pest Management Science**, v. 64, n. 4, p. 319-325, 2008.

DUPONT, Y. L.; STRANDBERG, B.; DAMGAARD, C. Effects of herbicide and nitrogen fertilizer on non-target plant reproduction and indirect effects on pollination in *Tanacetum vulgare* (Asteraceae). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 262, p. 76-82, 2018.

FAN, X. X.; XU, Z. G.; LIU, X. Y.; TANG, C. M.; WANG, L. W.; HAN, X. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. **Scientia Horticulturae**, v. 153, p. 50-55, 2013.

FENG, P. C. C.; CHIU, T.; SAMMONS, R. D. Glyphosate efficacy is contributed by its tissue concentration and sensitivity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, n. 3, p. 83-91, 2003.

FERNANDES, G.; APARICIO, V. C.; BASTOS, M. C.; DEGERÓNIMO, E.; LABANOWSKI, J.; PRESTES, O. D.; ZANELLA, R.; SANTOS, D. R. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 651, p. 1377-1387, 2019.

FERREIRA, E. A.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, E. A. M.; SILVA, A. A.; RUFINO, R. J. N. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil: IV - *Amaranthus deflexus*, *Amaranthus spinosus*, *Alternanthera tenella* e *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 263-271, 2003.

FERREIRA, S. D.; SALVALAGGIO, A. C.; MORATELLI, G.; VASCONCELOS, E. D.; COSTA, N. V. Controle de espécies de commelinas com desseccantes isolados e em misturas. **Planta Daninha**, v. 35, p. 17165664, 2017.

FOLTA, K. M.; MARUHNICH, S. A. Green light: a signal to slow down or stop. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 12, p. 3099-3111, 2007.

FSC. **FSC Lists of Highly hazardous pesticides** - 2019. Disponível em: <<https://fsc.org/en/document-centre/documents/resource/315>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

GARCERÁ, C.; MOLTÓ, E.; CHUECA, P. Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards: Canopy deposition and off-target losses. **Science of The Total Environment**, v. 599–600, p. 1344-1362, 2017.

GAVILANES, M. L.; BRANDÃO, M.; LACA-BUENDIA, J. P. A flórua invasora da cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 2, n. 1, p. 1-17, 1989.

GAZOLA, T.; DIAS, M. F.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Monitoring of resistance of sourgrass to glyphosate herbicide in urban areas of the state of São Paulo, Brazil. **Planta Daninha**, v. 37, p. 019207210, 2019.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; SILVA, A. F.; CONCENÇO, G. Estimating yield losses in soybean due to sourgrass interference. **Planta Daninha**, v. 37, p. 019190835, 2019.

GÉLINAS, P.; GAGNON, F.; MCKINNON, C. Wheat preharvest herbicide application, whole-grain flour properties, yeast activity and the degradation of glyphosate in bread. **International Journal of Food Science Technology**, v. 53, n. 7, p. 1597-1602, 2018.

GELMINI, G. A.; VICTÓRIA FILHO, R.; NOVO, M. C. S. S.; ADORYAN, M. L. Resistance of *Euphorbia Heterophylla* L. to ALS-inhibiting herbicides in soybean. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 452-457, 2005.

GERÓNIMO, E.; APARICIO, V. C.; COSTA, J. L. Glyphosate sorption to soils of Argentina. Estimation of affinity coefficient by pedotransfer function. **Geoderma**, v. 322, p. 140-148, 2018.

GIESE, B. N. Effects of light and temperature on the composition of epicuticular wax of barley leaves. **Phytochemistry**, v. 14, n. 4, p. 921-929, 1975.

GISH, T. J.; PRUEGER, J. H.; DAUGHTRY, C. S. T.; KUSTAS, W. P.; MCKEE, L. G.; RUSS, A. L.; HATFIELD, J. L. Comparison of Field-scale Herbicide Runoff and Volatilization Losses: An Eight-Year Field Investigation. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 5, p. 1432-1442, 2011.

GODDARD, M. J. R.; WILLIS, J. B.; ASKEW, S. D. Application Placement and Relative Humidity Affects Smooth Crabgrass and Tall Fescue Response to Mesotrione. **Weed Science**, v. 58, n. 1, p. 67-72, 2010.

GOMES, M. P.; SMEDBOL, E.; CHALIFOUR, A.; HÉNAULT-ETHIER, L.; LABRECQUE, M.; LEPAGE, L.; LUCOTTE, M.; JUNEAU, P. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: An overview. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 17, p. 4691-4703, 2014.

GOMMERS, C. M. M.; VISSER, E. J. W.; ONGE, K. R. S.; VOESENEK, L. A. C. J.; PIERIK, R. Shade tolerance: When growing tall is not an option. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 2, p. 65-71, 2013.

GONÇALVES, R. M.; MEIRELLES, W. F.; FIGUEIREDO, J.; BALBI-PEÑA, M. I.; PACCOLA-MEIRELLES, L. D. *Digitaria horizontalis* and *D. Insularis* as alternative hosts for *Pantoea ananatis* in brazilian maize fields. **Journal of Plant Pathology**, v. 97, p. 177-181, 2015.

HALLIDAY, K. J.; KOORNNEEF, M.; WHITELAM, G. C. Phytochrome B and at least one other phytochrome mediate the accelerated flowering response of *Arabidopsis thaliana* L. to low red/far-red ratio. **Plant Physiology**, v. 104, n. 4, p. 1311-1315, 1994.

HAZRATI, S.; TAHMASEBI-SARVESTANI, Z.; MODARRES-SANAVY, S. A. M.; MOKHTASSI-BIDGOLI, A.; NICOLA, S. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 106, p. 141-148, 2016.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database** – 2021. Disponível em: <www.weedscience.org>. Acesso em: 21 jan. 2021.

HENRY, G.; JOHNSTON, C.; HOYLE, J.; STRAW, C.; TUCKER, K. Common carpetgrass (*Axonopus fissifolius*) control with POST herbicides. **Weed Technology**, v. 33, n. 3, p. 535-539, 2019.

HEO, J. W.; LEE, C. W.; PAEK, K. Y. Influence of mixed LED radiation on the growth of annual plants. **Journal of Plant Biology**, v. 49, p. 286-290, 2006.

HESS, F. D.; FALK, R. H. Herbicide Deposition on Leaf Surfaces. **Weed Science**, v. 38, n. 3, p. 280-288, 1990.

HOLMES, M. G.; SMITH, H. The function of phytochrome in plants growing in the natural environment. **Nature**, v. 254, p. 512-514, 1975.

HUANG, Y.; THOMSON, S. J.; MOLIN, W. T.; REDDY, K. N.; YAO, H. Early Detection of Soybean Plant Injury from Glyphosate by Measuring Chlorophyll Reflectance and Fluorescence. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 5, p. 117-124, 2012.

HUSSAIN, S.; IQBAL, N.; BRESTIC, M.; RAZA, M. A.; PANG, T.; LANGHAM, D. R.; SAFDAR, M. E.; AHMED, S.; WEN, B.; GAO, Y.; LIU, W.; YANG, W. Changes in morphology, chlorophyll fluorescence performance and Rubisco activity of soybean in response to foliar application of ionic titanium under normal light and shade environment. **Science of The Total Environment**, v. 658, p. 626-637, 2019a.

HVĚZDOVÁ, M.; KOSUBOVÁ, P.; KOŠÍKOVÁ, M.; SCHERR, K. E.; ŠIMEK, Z.; BRODSKÝ, L.; ŠUDOMA, M.; ŠKULCOVÁ, L.; SÁŇKA, M.; SVOBODOVÁ, M.; KRKOŠKOVÁ, L.; VAŠÍČKOVÁ, J.; NEUWIRTHOVÁ, N.; BIELSKÁ, L.; HOFMAN, J. Currently and recently used pesticides in Central European arable soils. **Science of The Total Environment**, v. 613-614, p. 361-370, 2018.

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J. Porphyrin accumulation and export by isolated barley (*Hordeum vulgare*) plastids: Effect of diphenyl ether herbicides. **Plant Physiology**, v. 101, n. 4, p. 1181-1188, 1993.

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J.; DE MAGGIO, A. E. Protoporphyrinogen oxidation in chloroplasts and plant mitochondria, a step in heme and chlorophyll synthesis. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 218, n. 1, p. 233-239, 1982.

JACOBS, J. M.; JACOBS, N. J.; SHERMAN, T. D.; DUKE, S. O. Effect of Diphenyl ether herbicides on oxidation of protoporphyrinogen to protoporphyrin in organellar and plasma membrane enriched fractions of barley. **Plant Physiology**, v. 97, n. 1, p. 197-203, 1991.

JASIENIUK, M.; BRÛLÉ-BABEL, A. L.; MORRISON, I. N. The Evolution and Genetics of Herbicide

Resistance in Weeds. **Weed Science**, v. 44, n. 1, p. 176-193, 1996.

KEUSKAMP, D. H.; POLLMANN, S.; VOESENEK, L. A. C. J.; PEETERS, A. J. M.; PIERIK, R. Auxin transport through PIN-FORMED 3 (PIN3) controls shade avoidance and fitness during competition. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America**, v. 107, n. 52, p. 22740-22744, 2010.

KIRKWOOD, R. C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. **Pesticide Science**, v. 55, n. 1, p. 69-77, 1999.

KIRKWOOD, R. C.; HETHERINGTON, R.; REYNOLDS, T. L.; MARSHALL, G. Absorption, localisation, translocation and activity of glyphosate in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L) Beauv): influence of herbicide and surfactant concentration. **Pest Management Science**, v. 56, n. 4, p. 359-367, 2000.

KOUJI, H.; MASUDA, T.; MATSUNAKA, S. Action Mechanism of Diphenyl Ether Herbicides. **Journal of Pesticide Science**, v. 13, n. 3, p. 495-499, 1988.

KUVA, M. A.; PITELLI, R. A.; SALGADO, T. P.; ALVES, P. L. C. A. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 501-511, 2007.

LABONIA, V. D. S.; CARVALHO, S. J. P.; MONDO, V. H. V.; CHIOVATO, M. G.; VICTORIA FILHO, R. Emergência de plantas da família Convolvulaceae influenciada pela profundidade da semente no solo e cobertura com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 27, n. spe, p. 921-929, 2009.

LEE, S. H.; TEWARI, R. K.; HAHN, E. J.; PAEK, K. Y. Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania Somnifera* (L.) Dunal. plantlets. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 90, p. 141-151, 2007.

LEITE, G. L. D.; PAULO, P. D.; TUFFI-SANTOS, L. D.; ALVARENGA, A. C.; SOARES, M. A.; DOURADO, L. R.; BISPO, E. P. R. Efficacy of *Trichogrammatidae* species (Hymenoptera) submitted to the herbicide glyphosate. **Planta Daninha**, v. 37, 2019.

LI, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; CAO, W. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 267-275, 2010.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 383 p.

LUPI, L.; BEDMAR, F.; PURICELLI, M.; MARINO, D.; APARICIO, V. C.; WUNDERLIN, D.; MIGLIORANZA, K. S. B. Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. **Chemosphere**, v. 225, p. 906-914, 2019.

MAC LOUGHLIN, T. M.; PELUSO, M. L.; APARICIO, V. C.; MARINO, D. J. G. Contribution of soluble and particulate-matter fractions to the total glyphosate and AMPA load in water bodies associated with horticulture. **Science of The Total Environment**, v. 703, p. 134717, 2020.

MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; FIALHO, C. M. T.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, M. S. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 641-647, 2006.

MACHADO, A. F. L.; MEIRA, R. M. S.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A.; TUFFI SANTOS, L. D.; FIALHO, C. M. T.; MACHADO, M. S. Caracterização anatômica de folha, colmo e rizoma de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2008.

MACIEL, C. D. G.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; JUSTINIANO, W. Eficiência e qualidade da aplicação de misturas em tanque com adjuvantes na dessecação de Corda-de-Viola. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 704-715, 2011.

MACIEL, C. D. G.; POLETINE, J. P.; AMSTALDEN, S. L.; GAZZIERO, D. L. P.; RAIMONDI, M. A.; LIMA, G. R. G.; OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; JUSTINIANO, W. Misturas em tanque com glyphosate para o controle de trapoeraba, erva-de-touro e capim-carrapicho em soja RR®. **Revista Ceres**, v. 58, n. , p. 35-42, 2011.

MAEDA, H.; DUDAREVA, N. The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 73-105, 2012.

MARTINS, J. F.; BARROSO, A. A. M.; ALVES, P. L. C. A. Efeitos do ambiente na germinação e emergência de capim-amargoso resistente e suscetível ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 35, p. 1-8, 2017.

MATRINGE, M.; CAMADRO, J. M.; LABBE, P.; SCALLA, R. Protoporphyrinogen oxidase as a molecular target for diphenyl ether herbicides. **The Biochemical Journal**, v. 260, n. 1, p. 231-235, 1989.

MCALLISTER, R. S.; HADERLIE, L. C. Translocation of ¹⁴C-Glyphosate and ¹⁴CO₂-Labeled Photoassimilates in Canada Thistle (*Cirsium arvense*). **Weed Science**, v. 33, n. 2, p. 153-159, 1985.

MEDALIE, L.; BAKER, N. T.; SHODA, M. E.; STONE, W. W.; MEYER, M. T.; STETS, E. G.; WILSON, M. Influence of land use and region on glyphosate and aminomethylphosphonic acid in streams in the USA. **Science of The Total Environment**, v. 707, p. 136008, 2020.

MEFTAUL, I. M.; VENKATESWARLU, K.; DHARMARAJAN, R.; ANNAMALAI, P.; ASADUZZAMAN, M.; PARVEN, A.; MEGHARAJ, M. Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture?. **Environmental Pollution**, v. 263, p. 114372, 2020.

MONQUERO, P. A.; COSTA, V. D.; KROLIKOWSKI, V. Saflufenacil no controle de *Luffa aegyptiana*, *Merremia cissoides*, *Mucuna aterrima* e *Ricinus communis*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 3, p. 176-182, 2011.

MOREIRA, M. S.; MELO, M. S. C.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CRHISTOFFOLETI, P. J. Alternative Herbicides to Control Glyphosate-Resistant Biotypes of *Conyza bonariensis* and *C. canadensis*. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 167-175, 2010.

MU, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; JING, Q.; CAO, W. Long-term Low Radiation Decreases Leaf Photosynthesis, Photochemical Efficiency and Grain Yield in Winter Wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 1, p. 38-47, 2010.

NETO, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. O. L.; BEZERRA, A. A. C.; SILVA JÚNIOR, G. B.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; ZUFFO, A. M.; AQUINO, J. P. A.; BORGES, A. F. Floristic composition of weeds in a dystrophic Red-Yellow Argisol under the cultivation of cowpea, cv. BRS Novaera. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p. 767-772, 2019.

NICOLAI, M.; OBARA, F. E. B.; MELO, M. S. C.; SOUZA JUNIOR, J. A.; CANTALICE-SOUZA, R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Suscetibilidade diferencial de espécies convolvuláceas ao flumioxazin determinada através de curvas de dose-resposta. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 157-163, 2013.

ORR, G. L.; HESS, F. D. Mechanism of Action of the Diphenyl Ether Herbicide Acifluorfen-Methyl in Excised Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Cotyledons. **Plant Physiology**, v. 69, n. 2, p. 502-507, 1982.

PENG, Y.; FANG, W.; KRAUSS, M.; BRACK, W.; WANG, Z.; LI, F.; ZHANG, X. Screening hundreds of emerging organic pollutants (EOPs) in surface water from the Yangtze River Delta (YRD): Occurrence, distribution, ecological risk. **Environmental Pollution**, v. 241, p. 484-493, 2018.

PIERIK, R.; WIT, M. Shade avoidance: phytochrome signalling and other aboveground neighbour detection cues. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 11, p. 2815-2824, 2014.

POLSTON, J. E.; LONDOÑO, M. A.; COHEN, A. L.; PADILLA-RODRIGUEZ, M.; ROSARIO, K.; BREITBART, M. Genome Sequence of *Euphorbia Mosaic Virus* from Passionfruit and *Euphorbia Heterophylla* in Florida. **Genome Announcements**, v. 5, n. 9, 2017.

RAMIRES, A. C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA, R. S.; GUERRA, N.; ALONSO, D. G.; BIFFE, D. F. Controle de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia* com a utilização de glyphosate isolado ou em associação com latifolicidas. **Planta Daninha**, v. 28, n. , p. 621-629, 2010.

RIBEIRO, N. M.; TORRES, B. A.; RAMOS, S. K.; SANTOS, P. H. V.; SIMÕES, C. T.; MONQUERO, P. A. Differential susceptibility of morning glory (*Ipomoea* and *Merremia*) species to residual herbicides and the effect of drought periods on efficacy. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 7, p. 1090-1098, 2018.

ROCHA, D. C.; RODELLA, R. A.; MARTINS, D.; MACIEL, C. D. G. Effect of herbicides on four wandering-jew species. **Planta Daninha**, v. 25, p. 359-364, 2007.

RUEPPEL, M. L.; BRIGHTWELL, B. B.; SCHAEFER, J.; MARVEL, J. T. Metabolism and Degradation of Glyphosate in Soil and Water. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 25, n. 3, p. 517-528, 1977.

SANTOS JÚNIOR, A.; FREITAS, F. C. L.; SANTOS, I. T.; SILVA, D. C.; PAIXÃO, G. P.; SEDIYAMA, C. S. Management of *Commelina benghalensis* with saflufenacil in shaded environments. **Planta Daninha**,

v. 37, p. 019178088, 2019.

SANTOS JÚNIOR, A.; TUFFI SANTOS, L. D.; COSTA, G. A.; BARBOSA, E. A.; LEITE, G. L. D.; MACHADO, V. D.; CRUZ L. R. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. **Planta Daninha**, v. 31, n. 1, p. 213-221, 2013.

SANTOS, L. D. T.; CRUZ, L. R.; SANTOS, S. A.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; SANTOS, I. T.; OLIVEIRA, A. M.; BARROS, R. E.; SANTOS, M. V.; FARIA, R. M. Phenotypic plasticity of *Neonotonia wightii* and *Pueraria phaseoloides* grown under different light intensities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 1, p. 519-528, 2015.

SEVILLANO, I.; SHORT, I.; GRANT, J.; O'REILLY, C. Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. **Forest Ecology and Management**, v. 374, p. 11-19, 2016.

SHANE FRIESEN, L. J.; FERGUSON, G. M.; CHRISTOPHER HALL, J. Management strategies for attenuating herbicide resistance: Untoward consequences of their promotion. **Crop Protection**, v. 19, p. 891-895, 2000.

SHANER, D. L.; LINDENMEYER, R. B.; OSTLIE, M. H. What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us?. **Pest Management Science**, v. 68, n. 1, p. 3-9, 2011.

SHARPE, S. M.; BOYD, N. S.; DITTMAR, P. J.; MACDONALD, G. E.; DARNELL, R. L. Effect of temperature on clopyralid safety in strawberry. **Weed Technology**, v. 32, n. 3, p. 347-351, 2018.

SMITH, H.; HOLMES, M. G. THE FUNCTION OF PHYTOCHROME IN THE NATURAL ENVIRONMENT-III. MEASUREMENT AND CALCULATION OF PHYTOCHROME PHOTOEQUILIBRIA. **Photochemistry and Photobiology**, v. 25, n. 6, p. 547-550, 1977.

SOMERVILLE, G. J.; POWLES, S. B.; WALSH, M. J.; RENTON, M. Why was resistance to shorter-acting pre-emergence herbicides slower to evolve?. **Pest Management Science**, v. 73, n. 5, p. 844-851, 2017.

SONG, X.; LI, H. Effects of building shade on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Euonymus fortunei*. **Acta Ecologica Sinica**, v. 36, n. 5, p. 350-355, 2016.

SOUZA, M. C.; COSTA AGUIAR ALVES P. L.; SALGADO, T. P. Interferência da comunidade infestante sobre plantas de *Eucalyptus grandis* de segundo corte. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 38, p. 63-71, 2010.

STEINRÜCKEN, H. C.; AMRHEIN, N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 94, n. 4, p. 1207-1212, 1980.

TAKANO, H. K.; MELO, M. S. C.; OVEJERO, R. F. L.; WESTRA, P. H.; GAINES, T. A.; DAYAN, F. E. Trp2027Cys mutation evolves in *Digitaria insularis* with cross-resistance to ACCase inhibitors. **Pesticide**

Biochemistry and Physiology, v. 164, p. 1-6, 2020.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA, R. S.; CONSTANTIN, J.; MANGOLIM, C. A.; MACHADO, M. F. P. S.; BEVILAQUA, M. R. R. Spread of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*): Independent selections or merely propagule dissemination? **Weed Biology and Management**, v. 18, p. 50-59, 2018.

TAVELLA, L. B.; SILVA, P. S. L.; MONTEIRO, A. L.; OLIVEIRA, V. R.; SIQUEIRA, P. L. O. F. Controle das plantas daninhas no milho em consórcio com gliricídia. **Planta Daninha**, v. 33, n. 2, p. 249-258, 2015.

TERASHIMA, I.; HANBA, Y. T.; TAZOE, Y.; VYAS, P.; YANO, S. Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO₂ diffusion. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 2, p. 343-354, 2006.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C. Manejo de convulvúceas em dois cultivares de soja semeada diretamente sob palha residual de cana Crua. **Planta Daninha**, v. 24, n. 1, p. 91-98, 2006.

TREZZI, M.; FELIPPI, C.; MATTEI, D.; SILVA, H.; NUNES, A.; DEBASTIANI, C.; VIDAL, R.; MARQUES, A. Multiple Resistance of Acetolactate Synthase and Protoporphyrinogen Oxidase Inhibitors in *Euphorbia heterophylla* Biotypes. **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 40, n. 1, p. 101-109, 2005.

TUFFI SANTOS, L. D.; CARDOSO FILHO, O.; SANTOS JUNIOR, A.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; FELIX, R. C.; LEITE, F. P. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**, v. 31, p. 491-499, 2013.

TUFFI SANTOS, L. D.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, F. A.; OLIVEIRA, J. A.; BENTIVENHA, S.; MACHADO, A. F. L. Exsudação radicular de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 369-374, 2008.

ULGUIM, A. R.; AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L.; SILVA, J. D. G.; SILVA, B. M.; WESTENDORFF, N. R. Agronomic factors involved in low-level wild poinsettia resistance to glyphosate. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 12, n. 1, p. 51-59, 2017.

USDA. **United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services**: Plant Database - 2021. Disponível em: <<https://plants.sc.egov.usda.gov/core/profile?symbol=MECI5>>. Acesso em: 19 de jan. 2021.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, p. 237-257, 2008.

VAN STEMPVOORT, D. R.; SPOELSTRA, J.; SENGER, N. D.; BROWN, S. J.; POST, R.; STRUGER, J. Glyphosate residues in rural groundwater, Nottawasaga River Watershed, Ontario, Canada. **Pest Management Science**, v. 72, n. 10, p. 1862-1872, 2016.

VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M.; PRADO, R.; RUIZ-SANTAELLA, J. P.; VILA-AIUB, M. Glyphosate resistant biotypes of wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla* L.) and its risk analysis on glyphosate-tolerant soybeans. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 5, n. 2, p. 265-269, 2007.

VILA-AIUB, M. M.; BALBI, M. C.; DISTÉFANO, A. J.; FERNÁNDEZ, L.; HOPP, E.; YU, Q.; POWLES, S. B. Glyphosate resistance in perennial *Sorghum halepense* (Johnsongrass), endowed by reduced glyphosate translocation and leaf uptake. **Pest Management Science**, v. 68, n. 3, p. 430-436, 2012.

WERLANG, R. C.; SILVA, A. A. Interação de glyphosate com carfentrazone-ethyl. **Planta Daninha**, v. 20, n. , p. 93-102, 2002.

WHITELAM, G. C.; JOHNSON, C. B. PHOTOMORPHOGENESIS IN *Impatiens parviflora* AND OTHER PLANT SPECIES UNDER SIMULATED NATURAL CANOPY RADIATIONS. **New Phytologist**, v. 90, n. 4, p. 611-618, 1982.

WILSON, A. K. *Euphorbia Heterophylla*: A Review of Distribution, Importance and Control. **Tropical Pest Management**, v. 27, n. 1, p. 32-38, 1981.

YAO, H.; ZHANG, Y.; YI, X.; ZHANG, X.; ZHANG, W. Cotton responds to different plant population densities by adjusting specific leaf area to optimize canopy photosynthetic use efficiency of light and nitrogen. **Field Crops Research**, v. 188, p. 10-16, 2016.

ZAMBÃO, J.; BITTENCOURT, H. V. H.; BONOME, L. T. S.; TREZZI, M. M.; FERNANDES, A. C. P. P. Water restriction, salinity and depth influence the germination and emergence of sourgrass. **Planta Daninha**, v. 38, p. 1-9, 2020.

ZAMBRANO, K.; FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, T.; MARYS, E. Molecular Characterization of a New Begomovirus That Infects *Euphorbia Heterophylla* and *Solanum Lycopersicum* in Venezuela. **Archives of Virology**, v. 157, n. 2, p. 379-382, 2012.

ZHANG, D.; ZHANG, L.; LIU, J.; HAN, S.; WANG, Q.; EVERS, J.; LIU, J.; VAN DER WERF, W.; LI, L. Plant density affects light interception and yield in cotton grown as companion crop in young jujube plantations. **Field Crops Research**, v. 169, p. 132-139, 2014.

ZOLLER, O.; RHYN, P.; RUPP, H.; ZARN, J. A.; GEISER, C. Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. **Food Additives & Contaminants: Part B Surveillance**, v. 11, n. 2, p. 83-91, 2018.

4 ARTIGOS

4.1 Artigo 1 – Adequação de doses de glyphosate no controle de *Merremia cissoides* (Lam.) Hallier f. em função da intensidade de luz

Este artigo foi elaborado conforme normas da revista Journal of Integrative Agriculture.

Adequação de doses de glyphosate no controle de *Merremia cissoides* (Lam.) Hallier f. em função da intensidade deluz

Resumo: O sombreamento promovido pelas culturas induz modificações abaixo do dossel das plantas de maior porte. Esse fator interfere na biologia das plantas daninhas e podem alterar sua sensibilidade aos herbicidas aplicados em pós-emergência. Objetivou-se avaliar o controle de *Merremia cissoides* (Lam.) Hallier f. com glyphosate em condições de pleno sol e sombreamento, em dois estágios de crescimento. Foram realizados dois experimentos de controle de *M. cissoides*. No primeiro e no segundo experimento, os tratamentos foram estabelecidos em esquema fatorial 2 x 5 e 2 x 6, respectivamente. O primeiro fator em ambos os experimentos foi constituído pelos ambientes de cultivo a pleno sol e 58,7% de sombreamento. O segundo fator, no primeiro experimento, foi constituído pelas doses 0, 270, 540, 810 e 1080 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate, que foram aplicadas aos 30 dias após a semeadura (DAS), e no segundo experimento, pelas doses 0, 250, 500, 750, 1000 e 1250 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate, que foram aplicadas aos 73 DAS. O sombreamento aumentou a sensibilidade de *M. cissoides* ao glyphosate. Aos 30 DAS, a dose recomendada para o controle dessa espécie em sombreamento foi de 270 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate, e a pleno sol, 540 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate. Aos 73 DAS, a dose recomendada para o seu controle em sombreamento foi de 750 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate. Nesse estágio, a pleno sol, nenhuma das doses aplicadas foi eficiente no controle de *M. cissoides*. O aumento das doses de glyphosate reduziu a Φ_{PSII} e a ETR nos dois ambientes de cultivo, com os dados de ETR apresentando alta correlação negativa com o controle. O sombreamento promoveu reduções de 50 e 40% nas doses de glyphosate, aos 30 e 73 DAS, respectivamente. Aos 73 DAS, *M. cissoides* é 177,77 e 131,48% mais tolerante ao glyphosate, em comparação aos 30 DAS, em sombreamento e a pleno sol, respectivamente. *M. cissoides* é eficientemente controlada por glyphosate em ambiente sombreado, independentemente da fase de crescimento. Já a pleno sol, a espécie é controlada apenas na fase inicial de crescimento. O sombreamento e a aplicação de glyphosate na fase inicial de crescimento contribuem na redução de custos e dos impactos ambientais negativos do uso desse herbicida.

Palavras-chave: herbicida, produtividade quântica do fotossistema II, redução de doses, sombreamento, taxa de transporte de elétrons.

1. Introdução

A eficiência do manejo integrado de plantas daninhas envolve o conhecimento da biologia da espécie, dos métodos de controle e do ambiente de cultivo. O sombreamento promovido pelas culturas altera o microclima do sub-bosque, reduzindo a disponibilidade de luz incidente e a temperatura do ar e aumentando a umidade (Alam *et al.* 2018; Castillo *et al.* 2020), interferindo na biologia das plantas daninhas (Yasin *et al.* 2017, 2019) e na sua sensibilidade a herbicidas aplicados em pós-emergência (Goddard *et al.* 2010; Costa *et al.* 2018; Sharpe *et al.* 2018). O conhecimento do efeito do sombreamento no controle de plantas daninhas pode levar a reduções das doses referências de glyphosate, pesticida mais usado no mundo (Benbrook 2016), levando à economia de produto aplicado, reduções dos custos e dos impactos ambientais negativos.

O uso intensivo do glyphosate apresenta impactos negativos sobre a contaminação de seres humanos (Agostini *et al.* 2020), alimentos (Gélinas *et al.* 2018; Zoller *et al.* 2018) e organismos não alvo (Dupont *et al.* 2018; Fernandes *et al.* 2019; Leite *et al.* 2019) provocando questionamentos pela sociedade. Todos esses problemas se relacionam em parte com a quantidade do produto utilizado nas aplicações. Uma alternativa para diminuir os impactos negativos do uso dessa molécula seria a redução de doses utilizadas, a partir da adequação do uso do produto conforme a espécie infestante, sua fase fenológica e seu ambiente de crescimento.

Merremia cissoïdes, conhecida popularmente como jitirana, campainha, corda-de-viola e corriola é uma planta anual, herbácea, de crescimento volúvel e reprodução por sementes (Lorenzi 2014). Espécie nativa da América tropical, é considerada uma importante planta daninha e está presente em países como Estados Unidos (USDA 2021) e Brasil (AGROFIT 2021). Essa planta acomete culturas anuais e perenes, como cana-de-açúcar (Kuva *et al.* 2007), milho (Tavella *et al.* 2015), soja (Timossi and Durigan 2006), eucalipto (Carbonari *et al.* 2010), café (Gavilanes *et al.* 1989) e citrus (Nunes *et al.* 2020). Essas culturas possuem arquitetura e crescimento distintos, promovendo ambientes diferentes para o crescimento das espécies infestantes.

O glyphosate é um importante herbicida para essas culturas (AGROFIT 2021). Entretanto, os estudos de controle de *M. cissoïdes* com o glyphosate são escassos (Barreto *et al.* 2017), sobretudo em ambientes com restrição luminosa, condição comum no sub-bosque de florestas plantadas, sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, café e frutíferas arbustivas e arbóreas. Além disso, populações diferentes de *M. cissoïdes* podem apresentar níveis distintos de sensibilidade ao herbicida, sobretudo quando crescidas em condições ambientais com variações na disponibilidade luminosa.

A utilização de variáveis relacionadas à fluorescência da clorofila pode ajudar a entender os efeitos da interação luz x glyphosate. Utilizada na identificação de estresses relacionados ao aparato fotossintético e diretamente relacionada à luz (Hazrati *et al.* 2016; Song e Li 2016), a fluorescência da clorofila tem sido empregada em estudos envolvendo herbicidas como uma técnica rápida e não evasiva na detecção de estresses (Dayan e Zaccaro 2012; Huang *et al.* 2012; Yannicari *et al.* 2012; Ali e Honermeier 2016).

A recomendação de doses de glyphosate para o controle de *M. cissoïdes* com base na intensidade de luz dos ambientes de cultivo e no estágio de crescimento das plantas pode promover economia de produto aplicado e reduzir os riscos da utilização desse herbicida. Objetivou-se então avaliar a disponibilidade de luz no ambiente e o estágio de crescimento da planta sobre a sensibilidade de *M. cissoïdes* ao glyphosate.

2. Material e Métodos

2.1. Área experimental e material vegetal utilizado

Foram realizados dois experimentos de controle de *Merremia cissoïdes*. Os experimentos diferiram no estágio das plantas no momento da aplicação do herbicida e nas doses de glyphosate utilizadas. Ambos foram conduzidos no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (43°50'18.31"W, 16°40'59.22"S). Köppen classifica o clima da região como Aw - tropical com estação seca no inverno (Climate-Data 2021).

Sementes de *M. cissoides* foram coletadas de diferentes plantas a campo e escarificadas em solução de ácido sulfúrico PA por 20 minutos, para quebra de dormência. Após escarificação, as sementes foram semeadas em vasos de 12 L contendo solo com as seguintes características químicas e físicas: pH em água - 4,7; areia - 16 dag kg⁻¹; silte - 30 dag kg⁻¹; argila - 54 dag kg⁻¹ e teor de matéria orgânica - 0,73 dag kg⁻¹. Foram semeadas 5 sementes por vaso. Após a emergência, a plântula mais vigorosa foi selecionada e as demais desbastadas. Após o desbaste, as plântulas foram levadas para os ambientes de cultivo. Os ambientes de cultivo consistiram em plantas a pleno sol e em 58,7±1,08% de sombreamento. O sombreamento foi produzido por tela sombrite de polipropileno cor preta, instalada sobre postes de madeira e arame a 2 metros de altura, fechando as laterais. A incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos ambientes foi aferida utilizando o aparelho AccuPar LP-80 Ceptometer, Decagon Devices (Figura 1). As medições foram realizadas em intervalos de 30 min, das 06:00 às 18:00 horas. O sombreamento médio de 58,7 ± 1,08% foi obtido através da média dos sombreamentos obtidos nos diferentes horários e calculado o erro padrão da média.

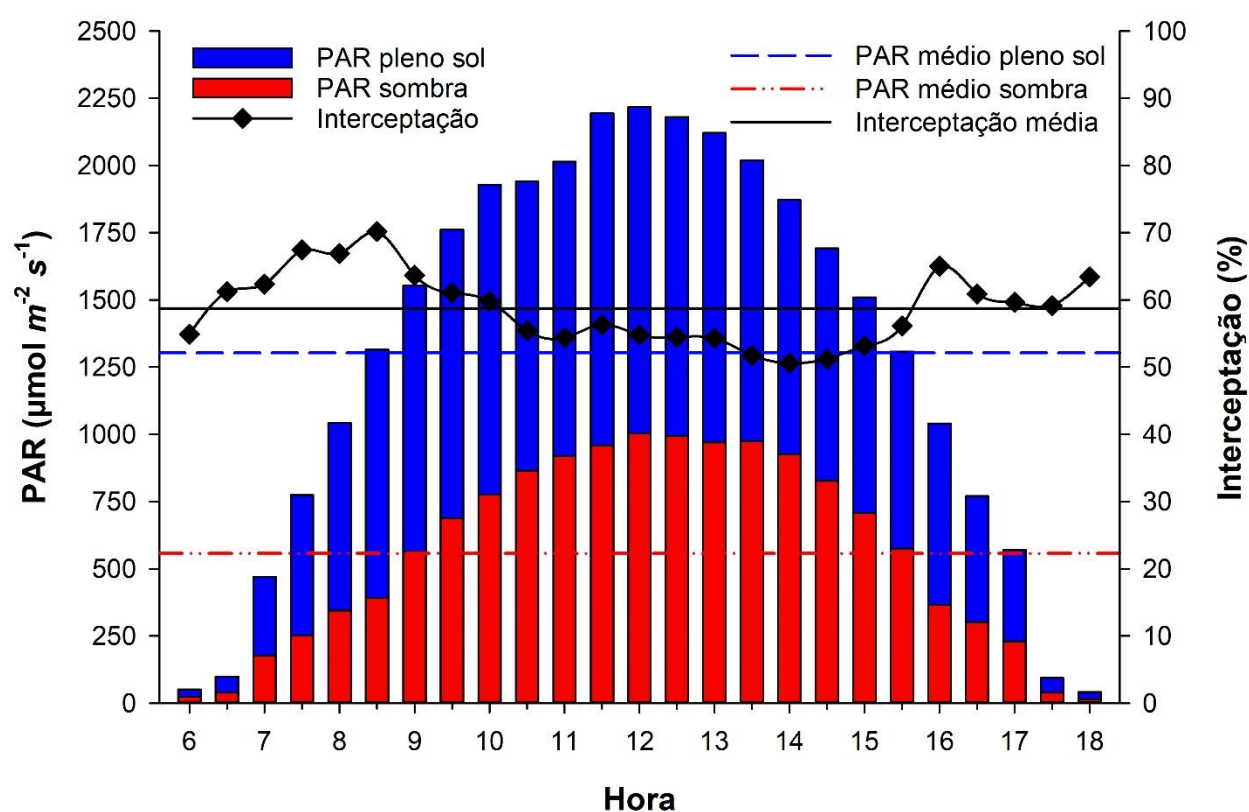


Figura 1– Disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos ambientes e a interceptação de luz produzida pelo sombrite entre as 06:00 e as 18:00 horas, durante o período experimental.

As unidades experimentais foram constituídas por vasos de 12 L contendo uma planta. A umidade do solo foi mantida próximo à capacidade de campo por irrigações realizadas uma vez ao dia.

2.2. Delineamento experimental e tratamentos

No primeiro e no segundo experimento, os tratamentos foram estabelecidos em esquema fatorial 2 x 5 e 2 x 6, respectivamente. O primeiro fator, em ambos os experimentos, foi constituído pelos ambientes de cultivo a pleno sol e 58,7% de sombreamento. O segundo fator, no primeiro experimento, foi constituído pelas doses 0, 270, 540, 810 e 1080 g ha⁻¹ de equivalente ácido de glyphosate, e no segundo experimento, pelas doses 0, 250, 500, 750, 1000 e 1250 g ha⁻¹ de equivalente ácido de glyphosate. O delineamento adotado em ambos os experimentos foi o de blocos casualizados com 4 repetições.

No primeiro experimento, as doses de glyphosate foram aplicadas no estágio inicial de crescimento, 30 dias após a semeadura (DAS) e 21 dias após alocação das plantas nos ambientes de cultivo, quando as plantas apresentavam em média 6 folhas. No segundo experimento, as doses foram aplicadas no estágio avançado de crescimento, 73 DAS e 52 dias após alocação das plantas nos ambientes de cultivo, quando as plantas se encontravam no início do estágio reprodutivo (Figura 2).

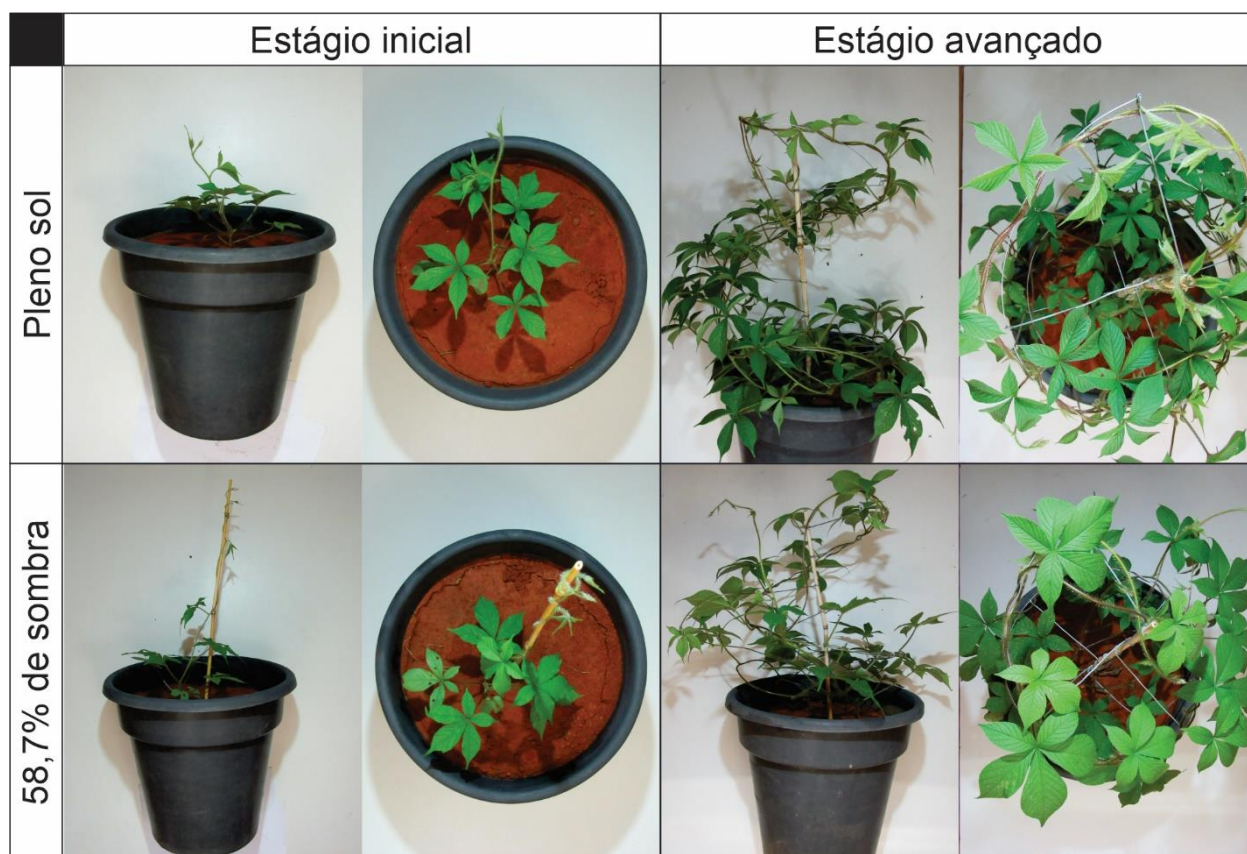


Figura 2 – Caracterização das plantas no momento da aplicação de glyphosate nos dois experimentos.

A aplicação das doses de glyphosate foi realizada com pulverizador costal equipado com ponta modelo AVI 110-02 e válvula reguladora de pressão constante a 3 bar, regulada para aplicação de volume de 145 e 198 L ha⁻¹ para o primeiro e o segundo experimento, respectivamente.

2.3. Avaliações

No primeiro experimento, aos 3 e 5 dias após aplicação (DAA) de glyphosate, e no segundo experimento, aos 3 e 7 DAA de glyphosate, foram avaliadas a produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas com o aparelho fluorômetro Y (II) meter, OPTI-SCIENCES.

Em ambos os experimentos foram realizadas avaliações visuais de controle aos 28 DAA, adotando-se a escala de 0 a 100%, em que 0 é a inexistência de efeitos tóxicos provocados pelo herbicida e 100 a morte total da planta. Também em ambos os experimentos, aos 28 DAA, o material vegetal vivo remanescente nos vasos foi coletado e colocado em estufa de circulação fechada de ar a 55° C até atingir peso constante para determinação da massa seca.

2.4. Análise estatística

Os dados de controle e massa seca foram analisados descritivamente com auxílio da média e do erro padrão da média. Os demais resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e, quando significativos, para interação entre os fatores, foram realizados os desdobramentos, e para os efeitos simples, as médias qualitativas foram comparadas ao teste de média Tukey ($p \leq 0,05$), e as médias quantitativas, à análise de regressão linear. Também foi realizada análise de correlação de Pearson entre as variáveis controle, massa seca, Φ_{PSII} e ETR aos 5 DAA, e Φ_{PSII} e ETR aos 7 DAA, para os estágios inicial e avançado de crescimento, respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R Studio (R Core Team 2019) e o pacote ExpDes.pt (Ferreira *et al.* 2014).

3. Resultados

3.1. Controle e massa seca remanescente de *M. cissoides*

O sombreamento aumentou a sensibilidade de *M. cissoides* ao glyphosate nos dois estágios de crescimento das plantas (Figura 2 – A e B). A dose necessária para controlar *M. cissoides* em sombreamento foi de 270 e 750 g ha⁻¹ de glyphosate, nos estágios inicial e avançado de crescimento, respectivamente. A pleno sol, a dose necessária para controlar *M. cissoides* no estágio inicial de crescimento é de 540 g ha⁻¹ de glyphosate, e no estágio avançado, nenhuma das doses aplicadas foi eficiente. Essa diferença entre as doses de controle entre os ambientes de cultivo no estágio inicial de crescimento representa redução de 50% de produto aplicado em sombreamento. No estágio avançado, a diferença entre a dose de controle em sombreamento e a maior dose aplicada a pleno sol representa economia de 40% de produto aplicado.

No estágio avançado de crescimento, *M. cissoides* é mais tolerante ao glyphosate (Figura 2 – A e B). Nesse estágio, as doses de controle de *M. cissoides* são 177,77 e 131,48% superiores às doses de controle no estágio inicial, em sombreamento e a pleno sol, respectivamente.

No estágio inicial de crescimento, as plantas sem aplicação de glyphosate crescidas em sombreamento apresentaram maior massa seca em comparação ao pleno sol. Entretanto, no estágio avançado de crescimento, as plantas sem aplicação de glyphosate crescidas a pleno sol apresentaram maior massa seca em comparação ao sombreamento (Figura 2 – C e D).

Em ambos os experimentos e ambientes de cultivo, houve redução da biomassa remanescente, expressa pela massa seca, após a aplicação de glyphosate. Entretanto, essa redução foi superior para os ambientes sombreados, nos dois experimentos, seguindo o mesmo comportamento dos dados de controle (Figura 2 – C e D).

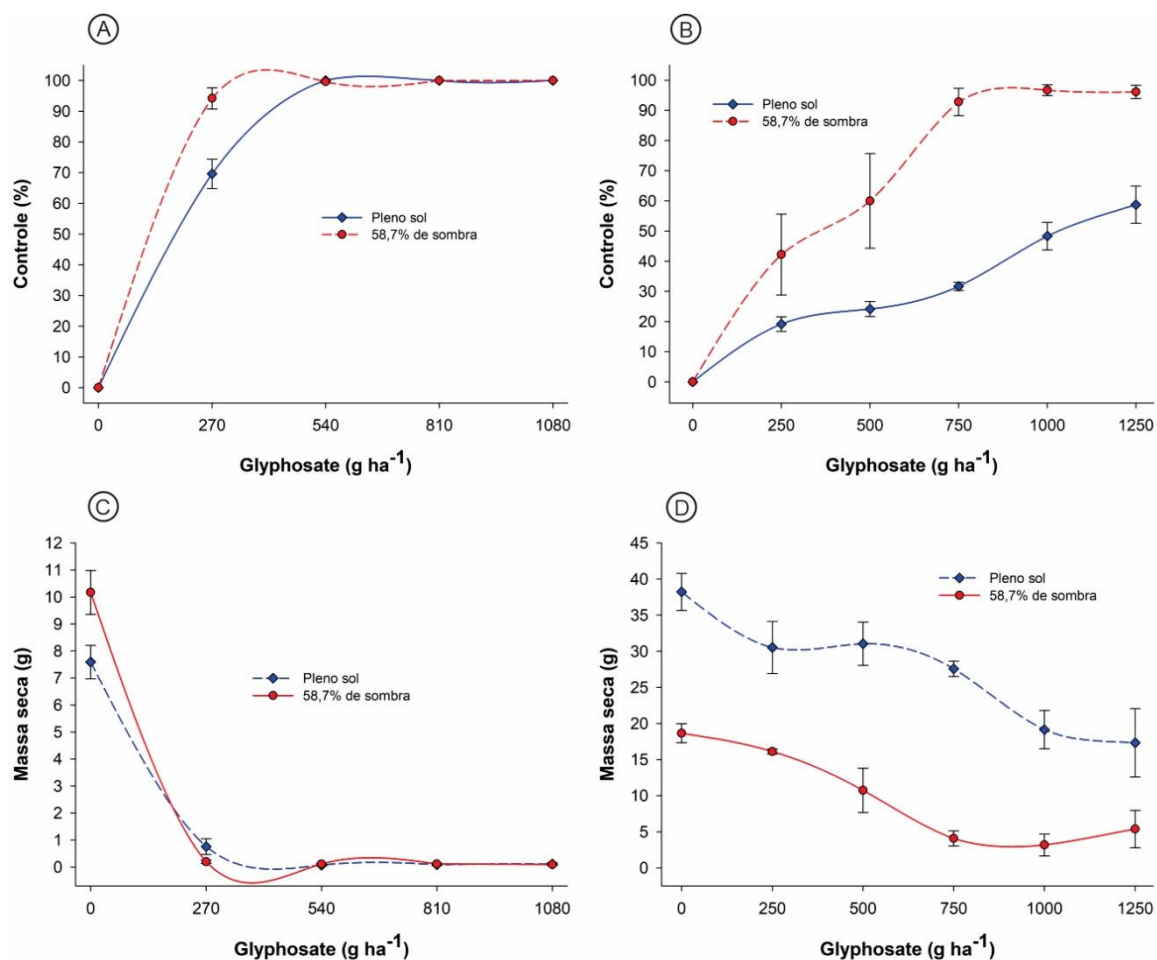


Figura 2 – Controle e massa seca de *Merremia cissoides* aos 28 dias após aplicação das doses de glyphosate. A e C: controle e massa seca de *M. cissoides* no estágio inicial de crescimento. B e D: controle e massa seca de *M. cissoides* no estágio avançado de crescimento. As barras representam o erro padrão da média.

3.2. Φ_{PSII} e ETR

De forma geral, o sombreamento aumentou a Φ_{PSII} de *M. cissoides* em comparação ao pleno sol nos dois estágios de crescimento (Tabela 1). A aplicação de glyphosate reduziu a Φ_{PSII} de *M. cissoides* (Figura 3). Aos 3 DAA, em ambos os experimentos, as reduções nessa variável foram mais brandas (Figura 3 – A e B), e aos 5 e 7 DAA, mais intensas, indicando agravamento dos sintomas provocados pelo herbicida (Figura 3 – C e D). Para essa variável, não houve interação entre os fatores.

Tabela 1 – Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) de *Merremia cissooides* a pleno sol e em sombreamento, aos 3 e 5 dias após aplicação (DAA) de glyphosate no estágio inicial de crescimento e aos 3 e 7DAA de glyphosate no estágio avançado de crescimento.

Ambientes	Φ_{PSII}			
	Crescimento inicial		Crescimento avançado	
	3 DAA	5 DAA	3 DAA	7 DAA
Pleno sol	0,41 a	0,15 b	0,26 b	0,20 b
58,7% de sombra	0,48 a	0,32 a	0,31 a	0,26 a
CV (%)	25,84	45,99	32,74	31,10

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

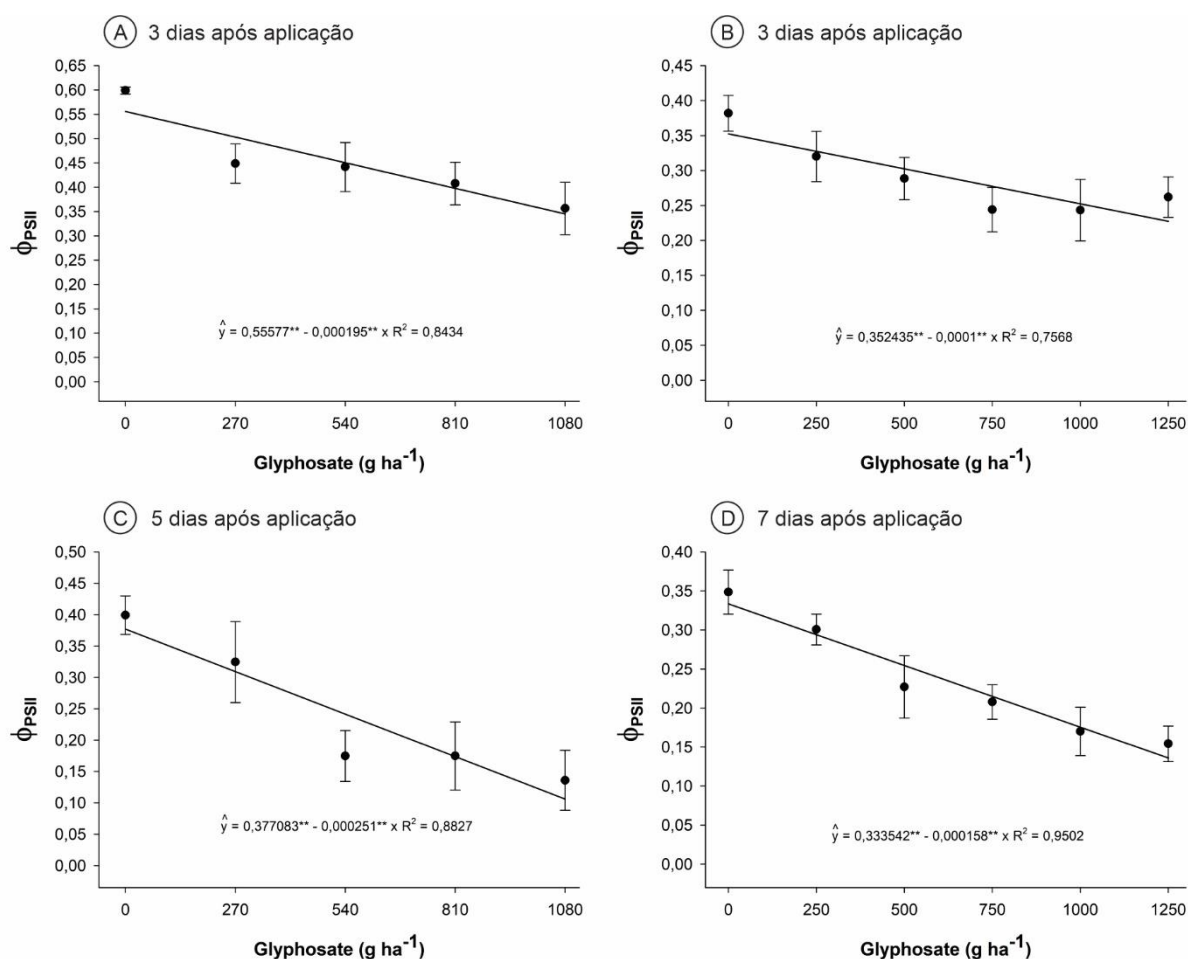


Figura 3 – Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) de *Merremia cissooides*. A e C: Φ_{PSII} de *M. cissooides* aos 3 e 5 dias após aplicação (DAA) de glyphosate no estágio inicial de crescimento, respectivamente. B e D: Φ_{PSII} de *M. cissooides* aos 3 e 7 DAA de glyphosate no estágio avançado de crescimento, respectivamente. As barras representam o erro padrão da média. ** significativo pelo teste T ($p \leq 0,01$).

O sombreamento reduziu a ETR de *M. cissoides* em comparação ao pleno sol nos dois estágios de crescimento das plantas (Figura 4 e Tabela 2). A aplicação de glyphosate também reduziu a ETR de *M. cissoides* em ambas as fases fenológicas (Figura 4). Para o estágio inicial de crescimento, as reduções na ETR foram superiores em sombreamento até a dose de 270 g ha⁻¹ de glyphosate, aos 3 e 5 DAA (Figura 4 – A e C). A partir dessa dose, as reduções foram similares para os dois ambientes de cultivo. No estágio avançado de crescimento, não houve interação entre os fatores. Aos 3 DAA, as reduções na ETR provocadas pelo glyphosate foram mais brandas, e aos 7 DAA, mais intensas, indicando o agravamento dos danos provocados pelo herbicida (Figura 4 – B e D).

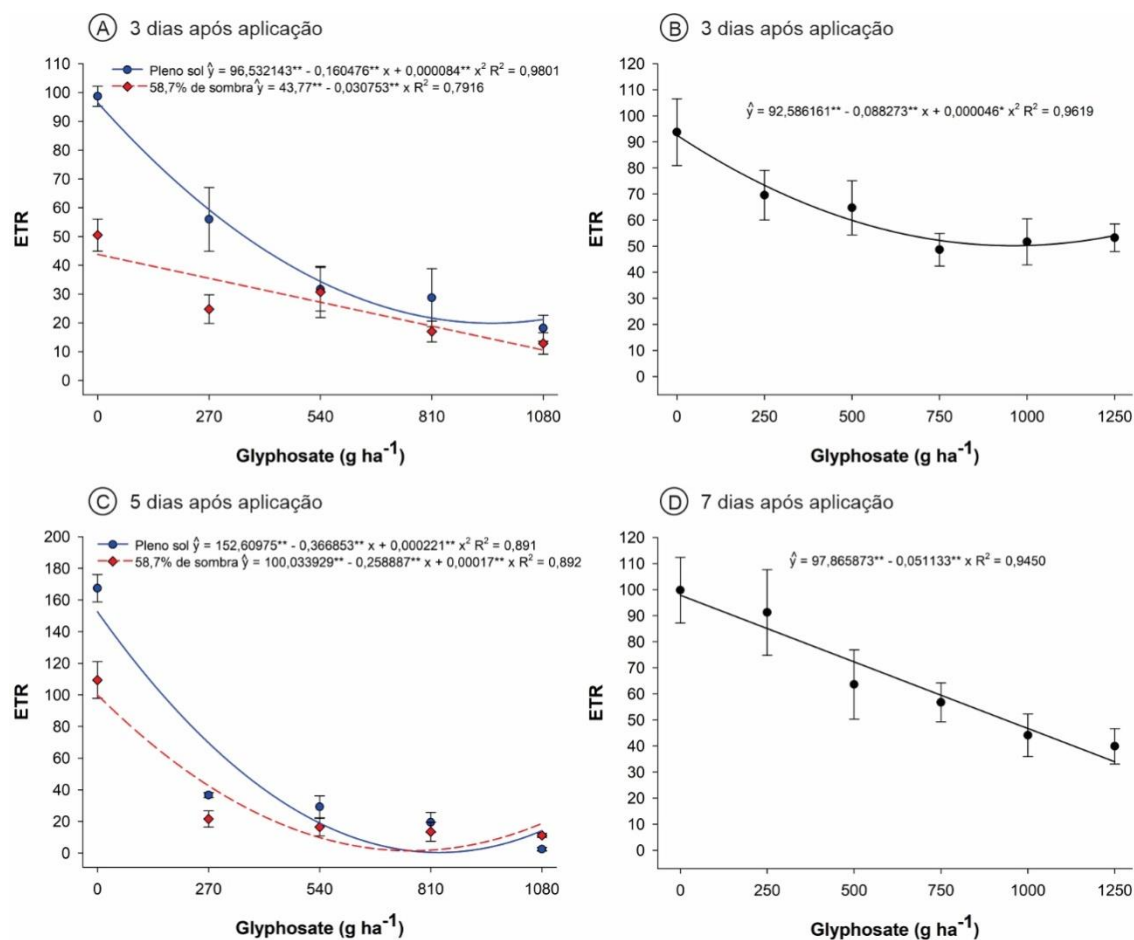


Figura 4 – Taxa de transporte de elétrons (ETR) de *Merremia cissoides*. A e C: ETR de *M. cissoides* aos 3 e 5 dias após aplicação (DAA) de glyphosate no estágio inicial de crescimento, respectivamente. B e D: ETR de *M. cissoides* aos 3 e 7 DAA de glyphosate no estágio avançado de crescimento, respectivamente. As barras representam o erro padrão da média. **: * significativo pelo teste T a $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente.

Tabela 2 – Taxa de transporte de elétrons (ETR) de *Merremia cissoides* a pleno sol e em sombreamento, aos 3 e 7 dias após aplicação (DAA) de glyphosate, no estágio avançado de crescimento.

Ambientes	ETR	
	3 DAA	7 DAA
Pleno sol	78,9180 a	85,9812 a
58,7% de sombra	48,3166 b	45,8347 b
CV (%)	31,34	34,32

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste F ($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

3.3. Correlação

Os dados de correlação apresentaram o mesmo comportamento nos dois experimentos. O controle apresentou alta correlação negativa com massa seca e ETR. A massa seca teve alta correlação positiva com a ETR. A Φ_{PSII} não se correlacionou com nenhuma das variáveis analisadas (Figura 5).

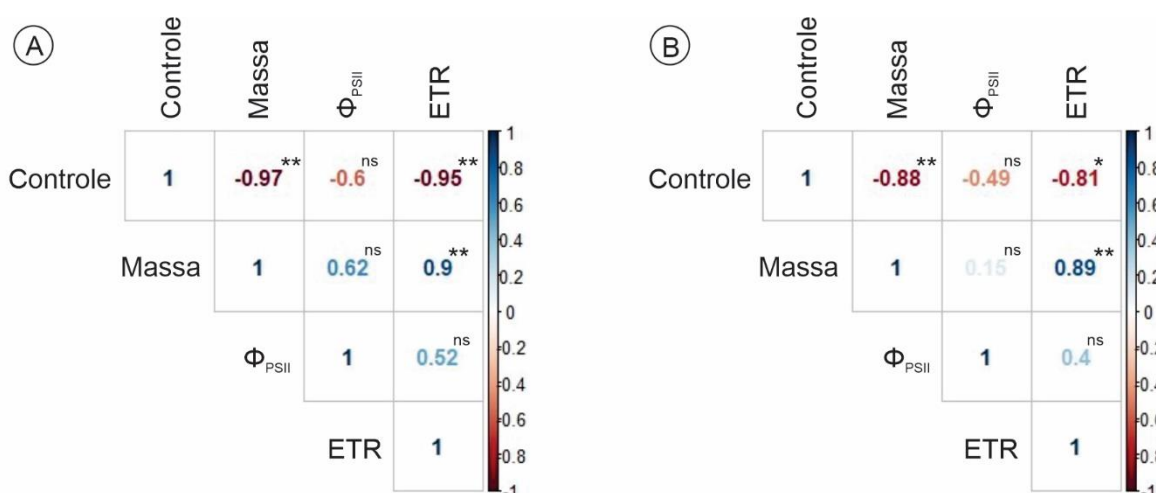


Figura 5 - Correlação de Pearson. A: correlação entre as variáveis controle, massa seca, produtividade quântica do fotossistema (Φ_{PSII}) II e taxa de transporte de elétrons (ETR) aos 5 dias após aplicação (DAA), no estágio inicial de crescimento de *Merremia cissoides*. B: correlação entre as variáveis controle, massa seca, produtividade quântica do fotossistema II e taxa de transporte de elétrons (ETR) aos 7 DAA no estágio avançado de crescimento de *M. cissoides*. **: *: significativo pelo teste T a $p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$, respectivamente. ^{ns}: não significativo pelo teste T ($p \leq 0,05$).

4. Discussão

A maior sensibilidade de *M. cissoides* ao glyphosate em sombreamento nos dois estágios de crescimento (Figura 2) está relacionada a menor ETR das plantas nesse ambiente (Figura 4 – A e C; Tabela 2), que apresentou alta correlação negativa com o controle (Figura 5). A ETR está diretamente ligada à produção de ATP, NADPH e à síntese de amido (Saroussi *et al.* 2019), e, portanto, à energia

das plantas. Plantas com déficit de energia têm menores chances de se recuperarem dos sintomas fitotóxicos provocados, aumentando a sua sensibilidade ao glyphosate (Tuffi Santos *et al.* 2004).

Embora *M. cissooides* em sombreamento apresente maior Φ_{PSII} (Tabela 1) e seja mais eficiente na utilização da luz, essa maior eficiência não é suficiente para suprir a redução drástica no PAR nesse ambiente (Figura 1), apresentando menor ETR. A importância da ETR na síntese de amido explica a sua alta correlação positiva com a massa seca das plantas (Figura 5). A ETR de *M. cissooides* é mais influenciada pela quantidade de PAR disponível nos ambientes de cultivo, e, por isso, a Φ_{PSII} não se correlacionou com essa variável e com a massa seca das plantas (Figura 5).

Além do déficit de energia, outros fatores como o enfraquecimento de barreiras à absorção de herbicidas e o aumento na sua translocação na planta em sombreamento podem estar associados. Costa *et al.* (2020) encontraram menor deposição de cera em folhas de *Macroptilium atropurpureum* em sombreamento comparado a plantas a pleno sol. O menor teor de ceras e a redução da hidrofobicidade da cutícula estão relacionados à maior sensibilidade de plantas ao glyphosate (Chachalis *et al.* 2001). Mota *et al.* (2020) observaram maior absorção e menor translocação de glyphosate em *Urochloa brizantha* cv. Marandu, quando submetida ao escuro após a aplicação do herbicida. Entretanto, a menor translocação de glyphosate no estudo de Mota *et al.* (2020) é devida à inexistência de atividade fotossintética nas plantas pela ausência de luz. O glyphosate é translocado principalmente via floema, seguindo a rota dos produtos fotossintéticos (Bromilow *et al.* 1990, 1993). No presente trabalho, as plantas em sombreamento apresentavam atividade fotossintética e translocação de fotoassimilados, que podem ser confirmadas pela presença do fluxo de elétrons (Figura 4 – A e C; Tabela 2). Camargo *et al.* (2012) encontraram maior translocação de saflufenacil em *Sesbania exaltata* em sombreamento. As adequadas absorção e translocação do glyphosate são fundamentais para boa ação do produto, uma vez que as raízes e os tecidos meristemáticos localizados nos pontos de crescimento são mais sensíveis à atividade do herbicida (Feng *et al.* 2003).

Resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados para as espécies *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus* e *Macroptilium atropurpureum* em relação ao glyphosate (Santos Júnior *et al.* 2013; Costa *et al.* 2018), e para *Commelina benghalensis* em relação ao saflufenacil (Santos Júnior *et al.* 2019), as quais se tornaram mais sensíveis à ação desses herbicidas em sombreamento e obtiveram alta eficiência de controle a doses mais baixas.

A aplicação de doses menores de glyphosate no controle de *M. cissooides* em sombreamento não contribui para a seleção de resistência poligênica sugerida por Busi e Powles (2009) e Tehranchian *et al.* (2017). A seleção de resistência poligênica encontrada por esses autores está relacionada à aplicação de doses subletais. Entretanto, as doses recomendadas no presente estudo não se enquadram no conceito de doses subletais, e sim em doses letais, apresentando eficiência de controle superior a 90% (Figura 2 – A e B). Uma vez que as aplicações de doses menores de glyphosate no controle de *M. cissooides* em sombreamento não contribuem para a seleção de resistência poligênica, a sua implementação se torna viável por reduzir os impactos ambientais do glyphosate e os custos de produção na agricultura, em que a redução na disponibilidade de luz no sub-bosque de cultivos é comum.

O aumento da tolerância de *M. cissooides* ao glyphosate com o aumento da idade das plantas (Figura 2 – A e B) está de acordo com resultados encontrados em outras plantas daninhas (Rios *et al.*

2016; Meyer e Norsworthy 2019). Entretanto, devido ao aumento expressivo dessa tolerância e à necessidade de doses muito superiores para o seu controle em ambos os ambientes de cultivo, a aplicação de glyphosate no controle de *M. cissoïdes* deve ser realizada nos estágios iniciais de crescimento, quando as plantas possuírem até 6 folhas definitivas (Figura 2 – A e C).

A aplicação de glyphosate reduziu a Φ_{PSII} e a ETR de *M. cissoïdes*. A plastoquinona, importante acceptor de elétrons da cadeia transportadora de elétrons entre os fotossistemas II e I e a eritrose-4-fosfato, composto importante na regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato no ciclo de Calvin-Benson, participam da rota do chiquimato (Maeda e Dudareva 2012). A desregulação da plastoquinona e da eritrose-4-fosfato causada pela inibição da rota do chiquimato pelo glyphosate leva à fotoinibição do fotossistema II (Christensen *et al.* 2003) e à redução da Φ_{PSII} e da ETR das plantas. Reduções nessas variáveis provocadas pelo glyphosate também foram encontradas por Yanniccare *et al.* (2012) e Zangh *et al.* (2015).

A utilização das variáveis Φ_{PSII} e ETR se mostraram importantes na avaliação do comportamento fisiológico de *M. cissoïdes* quanto aos fatores do estudo (luz x glyphosate), com relação direta da ETR com os dados de controle. Esses resultados reforçam o potencial de uso da Φ_{PSII} e da ETR em estudos ecotoxicológicos de plantas sob ação do glyphosate, principalmente sobre os seus efeitos secundários em plantas, aqueles que não estão diretamente relacionados ao seu mecanismo de ação.

Conclusão

O sombreamento aumentou a sensibilidade de *M. cissoïdes* ao glyphosate nos estágios iniciais e avançados de crescimento da planta em comparação ao obtido a pleno sol. A redução média de produto aplicado em sombreamento, considerando os dois estágios de crescimento, foi de 45%.

O aumento da idade de *M. cissoïdes* aumentou a sua tolerância ao glyphosate a pleno sol e em sombreamento. O aumento médio da tolerância, considerando os dois ambientes de crescimento das plantas, foi de 154,62%, sendo recomendado o controle da espécie nas fases iniciais de crescimento.

O sombreamento aumentou a Φ_{PSII} e reduziu a ETR de *M. cissoïdes* em comparação ao apurado no ambiente a pleno sol, e a aplicação de glyphosate provocou reduções nessas variáveis, com a ETR apresentando alta correlação negativa com o controle. Esse resultado reforça o potencial de uso da Φ_{PSII} e ETR em estudos ecotoxicológicos do glyphosate em plantas.

A intensidade de luz nos ambientes de cultivo precisa ser levada em consideração na definição de doses de glyphosate no manejo de *M. cissoïdes*, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais desse herbicida e os custos de produção.

Referências

- Agostini L P, Dettogni R S, Reis R S, Stur E, Santos E V W, Ventorim D P, Garcia F M, Cardoso R C, Graceli J B, Louro I D. 2020. Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies. *Science of the Total Environment*, **705**, 135808.
- AGROFIT. 2021. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. Available at:

- http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. [acessado em 19 Janeiro 2021].
- Alam B, Singh R, Uthappa A R, Chaturvedi M, Singh A K, Newaj R, Handa A K, Chaturvedi O P. 2018. Different genotypes of *Dalbergia sissoo* trees modified microclimate dynamics differently on understory crop cowpea (*Vigna unguiculata*) as assessed through ecophysiological and spectral traits in agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology*, **249**, 138-148.
- Ali S, Honermeier B. 2016. Post emergence herbicides influence the leaf yield, chlorophyll fluorescence and phenolic compounds of artichoke (*Cynara cardunculus* L.). *Scientia Horticulturae*, **203**, 216-223.
- Barreto L F, Decaro R A, Silva M G, Griesang F, Ferreira M D C. 2017. Efeito do paraquat e glyphosate sobre espécimes de poaceae e convolvulaceae em condições de déficit hídrico. *Revista Brasileira de Herbicidas*, **16**, 198-205.
- Benbrook C M. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, **28**,1-15.
- Bromilow R H, Chamberlain K, Patil S G. 1990. A rapid method using *Ricinus communis* for the estimation of phloem translocation of xenobiotics. *Pesticide Science*, **30**, 1-12.
- Bromilow R H, Chamberlain K, Tench A J, Williams R H. 1993. Phloem translocation of strong acids-glyphosate, substituted phosphonic and sulfonic acids-in *Ricinus communis* L. *Pesticide Science*, **37**, 39-47.
- Busi R, Powles S B. 2009. Evolution of glyphosate resistance in a *Lolium rigidum* population by glyphosate selection at sublethal doses. *Heredity*, **103**, 318-325.
- Camargo E R, Senseman S A, McCauley G N, Bowe S, Harden J, Guice J B. 2012. Interaction between saflufenacil and imazethapyr in red rice (*Oryza ssp.*) and hemp sesbania (*Sesbania exaltata*) as affected by light intensity. *Pest Management Science*, **68**, 1010-1018.
- Carbonari C A, Velini E D, Silva J R M, Bentivenha S R P, Takahashi E N. 2010. Eficácia da utilização de grânulos de argila como veículo para a aplicação aérea de sulfentrazone e isoxaflutole em área de implantação de eucalipto. *Planta Daninha*, **28**, 207-212.
- Castillo M S, Tiezzi F, Franzluebbbers A J. 2020. Tree species effects on understory forage productivity and microclimate in a silvopasture of the Southeastern USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **295**, 106917.
- Christensen M G, Teicher H B, Streibig J C. 2003. Linking fluorescence induction curve and biomass in herbicide screening. *Pest Management Science*, **59**, 1303-1310.
- Climate-Data. 2021. Dados climáticos para cidades mundiais. Available at: <https://pt.climate-data.org/>. [acessado em 19Fevereiro 2021].
- Costa G A, Santos L D T, Ferreira G A P, Cruz L R, Machado V D, Rocha L M. 2018. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **22**, 819-824.
- Costa G A, Tuffi-Santos L D, Santos S A, Cruz L R, Sant'Anna-Santos B F, Santos I T, Tanaka F A O. 2020. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. *South African Journal of Botany*, **131**, 302-309.
- Dayan F E, Zaccaro M L M. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **102**, 189-197.
- Dupont Y L, Strandberg B, Damgaard C. 2018. Effects of herbicide and nitrogen fertilizer on non-target

- plant reproduction and indirect effects on pollination in *Tanacetum vulgare* (Asteraceae). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **262**, 76-82.
- Feng P C C, Chiu T, Sammons R D. 2003. Glyphosate efficacy is contributed by its tissue concentration and sensitivity in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **77**, 83-91.
- Fernandes G, Aparicio V C, Bastos M C, Gerónimo E, Labanowski J, Prestes O D, Zanella R, Santos D R. 2019. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. *Science of The Total Environment*, **651**, 1377-1387.
- Ferreira E B, Cavalcanti P P, Nogueira D A. 2014. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. *Applied Mathematics*, **05**, 2952-2958.
- Gavilanes M L, Brandão M, Laca-Buendia J P. 1989. A flórmula invasora da cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado de Minas Gerais, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, **2**, 1-17.
- Gélinas P, Gagnon F, McKinnon C. 2018. Wheat preharvest herbicide application, whole-grain flour properties, yeast activity and the degradation of glyphosate in bread. *International Journal of Food Science Technology*, **53**, 1597-1602.
- Goddard M J R, Willis J B, Askew S D. 2010. Application Placement and Relative Humidity Affects Smooth Crabgrass and Tall Fescue Response to Mesotrione. *Weed Science*, **58**, 67-72.
- Hazrati S, Tahmasebi-Sarvestani Z, Modarres-Sanavy S A M, Mokhtassi-Bidgoli A, Nicola S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, **106**, 141-148.
- Huang Y, Thomson S J, Molin W T, Reddy K N, Yao H. 2012. Early Detection of Soybean Plant Injury from Glyphosate by Measuring Chlorophyll Reflectance and Fluorescence. *Journal of Agricultural Science*, **4**, 117-124.
- Kuva M A, Pitelli R A, Salgado T P, Alves P L C A. 2007. Fitossociologia de comunidades de plantas daninhas em agroecossistema cana-crua. *Planta Daninha*, **25**, 501-511.
- Leite G L D, Paulo P D, Tuffi-Santos L D, Alvarenga A C, Soares M A, Dourado L R, Bispo E P R. 2019. Efficacy of *Trichogrammatidae* species (Hymenoptera) submitted to the herbicide glyphosate. *Planta Daninha*, **37**, e019216439.
- Lorenzi H. 2014. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. 7.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 383 p.
- Maeda H, Dudareva N. 2012. The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants. *Annual Review of Plant Biology*, **63**, 73-105.
- Meyer C J, Norsworthy J K. 2019. Influence of weed size on herbicide interactions for Enlist™ and Roundup Ready® Xtend® technologies. *Weed Technology*, **33**, 569-577.
- Mota L M, Mendes K F, Júnior L H B, Silva E M G, Furtado I F, Tornisiolo V L. 2020. Light availability interferes with absorption and translocation of ¹⁴C-glyphosate in *Urochloa brizantha* cv. Marandu plants. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **326**, 683-693.
- Nunes M A, Novelli V M, Cunha B A. 2020. Survey of the citrus leprosis vector (*Brevipalpus yothersi*) and phytoseiids in spontaneous plants of an organic citrus orchard. *Experimental and Applied Acarology*, **82**, 199-209.
- R Core Team. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://www.R-project.org/>.

- Rios S I, Wright S D, Banuelos G, Shrestha A. 2016. Tolerance of *Amaranthus palmeri* populations from California to postemergence herbicides at various growth stages. *Crop Protection*, **87**, 6-12.
- Santos Júnior A, Freitas F C L, Santos I T, Silva D C, Paixão G P, Sedyama C S. 2019. Management of *Commelina benghalensis* with saflufenacil in shaded environments. *Planta Daninha*, **37**, e019178088.
- Santos Júnior A, Tuffi Santos L D, Costa G A, Barbosa E A, Leite G L D, Machado V D, Cruz L R. 2013. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. *Planta Daninha*, **31**, 213-221.
- Saroussi S, Karns D A J, Thomas D C, Bloszies C, Fiehn O, Posewitz M C, Grossman A R. 2019. Alternative outlets for sustaining photosynthetic electron transport during dark-to-light transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **166**, 11518-11527.
- Sharpe S M, Boyd N S, Dittmar P J, Macdonald G E, Darnell R L. 2018. Effect of temperature on clopyralid safety in strawberry. *Weed Technology*, **32**, 347-351.
- Song X, Li H. 2016. Effects of building shade on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Euonymus fortunei*. *Acta Ecologica Sinica*, **36**, 350-355.
- Tavella L B, Silva P S L, Monteiro A L, Oliveira V R, Siqueira P L O F. 2015. Controle das plantas daninhas no milho em consórcio com gliricídia. *Planta Daninha*, **33**, 249-258.
- Tehranchian P, Norsworthy J K, Powles S, Bararpour M T, Bagavathiannan M V, Barber T, Scott R C. 2017. Recurrent Sublethal-Dose Selection for Reduced Susceptibility of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) to Dicamba. *Weed Science*, **65**, 206-212.
- Timossi P C, Durigan J C. 2006. Manejo de Convolvuláceas em Dois Cultivares de Soja Semeada Diretamente Sob Palha Residual de Cana Crua. *Planta Daninha*, **24**, 91-98.
- Tuffi Santos L D, Meira R M S A, Santos I C, Ferreira F A. 2004. Efeito do glyphosate sobre a morfoanatomia das folhas e do caule de *Commelina diffusa* e *C. benghalensis*. *Planta Daninha*, **22**, 101-107.
- USDA. 2021. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services. Plant Database. Available at: <https://plants.sc.egov.usda.gov/core/profile?symbol=MECI5>. [accessed 19 January 2021].
- Yanniccari M, Tambussi E, Istilart C, Castro A M. 2012. Glyphosate effects on gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of two *Lolium perenne* L. biotypes with differential herbicide sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*, **57**, 210-217.
- Yasin M, Rosenqvist E, Andreassen C. 2017. The effect of reduced light intensity on grass weeds. *Weed Science*, **65**, 603-613.
- Yasin M, Rosenqvist E, Jensen S M, Andreassen C. 2019. The importance of reduced light intensity on the growth and development of six weed species. *Weed Research*, **59**, 130-144.
- Zhang T J, Feng L, Tian X S, Yang C H, Gao J D. 2015. Use of chlorophyll fluorescence and P700 absorbance to rapidly detect glyphosate resistance in goosegrass (*Eleusine indica*). *Journal of Integrative Agriculture*, **14**, 714-723.
- Zoller O, Rhyn P, Rupp H, Zarn J A, Geiser C. 2018. Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. *Food Additives & Contaminants: Part B*, **11**, 83-91.

4.2 Artigo 2 – Doses de glyphosate podem ser menores em ambientes sombreados para o controle de *Euphorbia heterophylla* L

Este artigo foi elaborado conforme normas da revista International Journal of Pest Management

Doses de glyphosate podem ser menores em ambientes sombreados para o controle de *Euphorbia heterophylla* L.

Resumo: A disponibilidade e a qualidade de luz nos ambientes de cultivo induzem mudanças morfológicas e fisiológicas nas plantas, que podem alterar a sua sensibilidade aos herbicidas. Objetivou-se então avaliar a influência da luz e de doses de glyphosate no controle de *Euphorbia heterophylla* L. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 04 repetições, em esquema fatorial 3 x 6. O primeiro fator foi constituído por plantas a pleno sol e dois sombreamentos de 40% ± 0,69 e 65% ± 0,60, e o segundo fator pelas doses 0 (testemunha), 370, 740, 1110, 1480 e 1850 g ha⁻¹ de equivalente ácido de glyphosate. O sombreamento aumentou a sensibilidade de *E. heterophylla* ao glyphosate. Em sombreamento, a dose de 1110 g ha⁻¹ de glyphosate foi eficiente no manejo dessa espécie, com controle superior a 90%. A pleno sol, as maiores doses testadas obtiveram níveis de controle em torno de 75%, considerados insatisfatórios. As variáveis massa fresca, produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) de *E. heterophylla* apresentaram forte correlação negativa com o controle da espécie pelo glyphosate. O aumento das doses de glyphosate reduziu a Φ_{PSII} e a ETR. Para a ETR, as reduções foram superiores em sombreamento. A redução da intensidade de luz aumentou a área média das folhas, a Φ_{PSII} e diminuiu a ETR de *E. heterophylla*. Em sombreamento, a dose recomendada para controle de *E. heterophylla* é 40% inferior à necessária a pleno sol e 50% inferior à dose recomendada pelo fabricante. O ambiente de cultivo precisa ser considerado nas recomendações do glyphosate no controle de *E. heterophylla*, como prática econômica e ambientalmente adequada no manejo integrado da espécie.

Palavras-chave: herbicida, redução de doses, fluorescência da clorofila a, leiteira

1. Introdução

O sombreamento é uma condição de restrição luminosa encontrada nos ambientes de cultivo, geralmente provocado pelo dossel de plantas de porte superior, como nos cultivos florestais e de fruteiras. A quantidade e a qualidade da luz são alteradas em sombreamento (Folta e Maruhnich 2007; Zhang et al. 2014). Essa alteração no espectro da luz é percebida pelas plantas através de fotorreceptores, que induzem mudanças morfológicas e fisiológicas para se adaptar à menor disponibilidade luminosa (Gommers et al. 2013, Pierik e Wit 2014, Wit et al. 2016, Xu et al. 2018).

Tem sido estudado em sombreamento o comportamento de diferentes espécies de plantas cultivadas e daninhas (Artru et al. 2018; Hernández et al. 2019; Hitz et al. 2019; Panigrahy et al. 2019; Yasin et al. 2017, 2019). Entretanto, pouco se sabe sobre a relação existente entre as mudanças morfológicas e fisiológicas observadas em sombreamento com a resposta de controle de plantas aos herbicidas utilizados em pós-emergência.

Alterações causadas pelo sombreamento no ângulo de inclinação das folhas (Meng et al. 2014), índice de área foliar (Li et al. 2010; Sevillano et al. 2016), deposição de cera epicuticular (Giese 1975; Costa et al. 2020), taxa fotossintética (Lee et al. 2007; Jiang et al. 2011) e na partição de matéria seca (Sevillano et al. 2016; Artru et al. 2018) podem alterar a sensibilidade das plantas aos herbicidas, uma vez que a captação, as barreiras contra a penetração e a absorção desses produtos e o balanço energético das plantas são modificados.

O aumento da sensibilidade das plantas daninhas em sombreamento pode reduzir doses de herbicidas para o seu manejo. A redução de doses tem impacto positivo na mitigação dos efeitos negativos de herbicidas no ambiente (Ferreira et al. 2017; Cecilia et al. 2018; Dupont et al. 2018; Zoller et al. 2018; Freitas-Silva et al. 2020). Para que a recomendação de doses de herbicidas leve em consideração a disponibilidade de luz do ambiente, é preciso conhecer a influência desse fator na resposta de controle das principais plantas daninhas.

A *Euphorbia heterophylla* é considerada uma planta problema em vários países, como Brasil (AGROFIT 2020, Asgarpour et al. 2020), Estados Unidos (USDA 2020), Irã, Fiji, Gana, México, Indonésia, Filipinas e Tailândia (Wilson 1981). Além da competição (Galon et al. 2018; Asgarpour et al. 2020), a *E. heterophylla* apresenta problemas de controle com casos de resistência ao glyphosate (Vidal et al. 2007; Agostinnetto et al. 2017; Ulguim et al. 2017), resistência cruzada aos herbicidas inibidores da ALS (Gelmini et al. 2005) e resistência múltipla aos herbicidas inibidores da ALS e PPO (Trezzi et al. 2005).

O estudo fisiológico das plantas em exposição aos herbicidas tem ganhado atenção de diferentes grupos de pesquisa, dada sua relevância para a agricultura e o meio ambiente (Christensen et al. 2003; Costa et al. 2018; Santos et al. 2019; Freitas-Silva et al. 2020; Gomes et al. 2020). Uma das formas de se estudar o estresse fisiológico das plantas referente ao ambiente é através da utilização de variáveis relacionadas à fluorescência da clorofila, inclusive sobre o efeito de herbicidas (Barbagallo et al. 2003; Dayan e Zaccaro 2012; Freitas-Silva et al. 2020) e da luz (Dai et al. 2009; Sukhova et al. 2020). A adaptação fisiológica ao sombreamento e a influência desse fator na sensibilidade de *E. heterophylla* ao glyphosate ainda não são compreendidas. Em função dos impactos do uso do glyphosate no ambiente em nível global (Bonansea et al. 2017; Fernandes et al. 2019; Lupi et al. 2019; Medalie et al. 2020) e da possibilidade de ajustes de doses mais baixas para o manejo de *E. heterophylla* em sombreamento, tais informações ganham relevância para mitigar os efeitos ambientais do glyphosate. Objetivou-se então avaliar a influência da luz e de diferentes doses de glyphosate no controle de *E. heterophylla*.

2. Material e Métodos

2.1. Área experimental e material vegetal utilizado

O experimento foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (16°40'58.1"S, 43°50'19.3"W). O clima da região é classificado por Köppen, como Aw - tropical com estação seca no inverno (Climate-Data 2021).

As sementes de *E. heterophylla* foram coletadas de diferentes plantas a campo e as mudas produzidas em bandejas de isopor contendo substrato comercial de fibra de coco e turfa de *sphagnum* (BIOPLANT®, Ponte Nova, BR). Aos 21 dias após o plantio, quando as plântulas atingiram o estágio de 4 folhas definitivas, as mudas foram transplantadas para vasos de 12 L contendo solo de textura média. O solo utilizado apresentou as seguintes características químicas: pH em água de 6,3; P de 1,89 mg dm⁻³; K de 81 mg dm⁻³; Ca de 6,7 cmol_c dm⁻³; Mg de 2,06 cmol_c dm⁻³; Al de 0 cmol_c dm⁻³; H + Al de 1,82 cmol_c dm⁻³ e teor de matéria orgânica de 3,08 dag kg⁻¹. Para adubação do solo, utilizou-se 3 g de fósforo e 1 g de nitrogênio por vaso, nas formulações super simples (18% de P₂O₅) e ureia (45% de N), respectivamente.

A unidade experimental foi constituída por vasos de 12 L contendo uma planta de *E. heterophylla* por vaso. A umidade do solo foi mantida próximo da capacidade de campo, por meio de irrigações realizadas uma vez ao dia.

2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento adotado foi o de blocos casualizados com 04 repetições. Os tratamentos foram estabelecidos em esquema fatorial 3 x 6, em que o primeiro fator foi constituído por plantas a pleno sol e 2 níveis de sombreamento (40% \pm 0,69 e 65% \pm 0,60 de sombreamento) e o segundo fator pelas doses 0 (testemunha), 370, 740, 1110, 1480 e 1850 g e. a. ha⁻¹ de glyphosate (Roundup Original® DI, 370 g e. a. L⁻¹, Monsanto). As doses de herbicida corresponderam a 0,00; 0,17; 0,33; 0,50; 0,67 e 0,83 da dose comercial máxima de Roundup Original® DI para controle de *E. heterophylla*, recomendada pelo fabricante para plantas no estágio adulto.

Os sombreamentos foram obtidos por meio de tela sombrite de polipropileno cor preta, instalada em suportes construídos com mourões e arame a 1,8 m de altura, fechando as laterais. A incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) no interior dos ambientes foi aferida utilizando-se o aparelho fluorômetro Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA). Foram realizadas 25 medições, obtendo-se 1546 \pm 10,86; 904 \pm 11,39 e 530 \pm 10,59 μ mol m⁻² s⁻¹ para pleno sol, 40 e 65% de sombreamento, respectivamente.

As doses de glyphosate foram aplicadas 26 dias após o transplântio das mudas, quando as plantas se encontravam no estágio inicial de floração. Foi utilizado pulverizador costal pressurizado a CO₂ equipado com ponta modelo AVI 11002 (Jacto, Pompeia, Brasil) e válvula reguladora de pressão (Guarany, Pirapitingui, Brasil) constante a 300 KPA, regulada para aplicação de 130 L ha⁻¹ de calda.

2.3. Avaliações morfológicas, fisiológicas e de controle

Com o objetivo de caracterizar a área média por folha de *E. heterophylla* em função dos ambientes de crescimento, dois dias antes da aplicação do herbicida foi realizada coleta de folhas das plantas. Folhas completamente expandidas localizadas no 7º nó foram coletadas e digitalizadas por meio de scanner e as imagens usadas para determinação da área média da folha através do programa Image-Pro Plus (Media Cybernetics, Inc., Rockville, MD, USA).

Aos três dias após aplicação (DAA) do herbicida, avaliou-se a produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR), com auxílio do aparelho fluorômetro Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA).

Foram realizadas avaliações visuais de controle aos 7, 14, 21 e 28 DAA, adotando-se a escala de 0 a 100%, em que 0 é a inexistência de efeitos tóxicos provocados pelo herbicida e 100 a morte total dos tecidos vegetais. Aos 28 DAA do herbicida, foram realizadas a coleta e a pesagem da parte aérea das plantas, para obtenção da biomassa fresca remanescente.

2.4. Análise estatística

Os dados de controle foram analisados descritivamente com auxílio da média e do erro padrão da média. Os demais resultados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Os dados de ETR e de massa fresca foram significativos para interação entre os fatores e foram analisados utilizando-

se regressões lineares e não lineares, respectivamente. Para a massa fresca, nos ambientes a pleno sol, 40% de sombreamento e 65% de sombreamento foram utilizados os modelos Lorentzian ($y=a/(1+((x-c)/b)^2)$), sigmoidal ($y=a/(1+\exp(-(x-c)/b))$) e Gaussian ($y=a*\exp(-0.5*((x-c)/b)^2)$), respectivamente. A Φ_{PSII} foi significativa para os efeitos simples. Para efeito do ambiente, as médias foram comparadas ao teste de média Tukey ($p \leq 0,05$). Para efeito das doses, os dados foram submetidos à análise de regressão linear. Também foi realizada análise de correlação entre as variáveis controle aos 28 DAA, massa fresca, Φ_{PSII} e ETR. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R Studio (R Core Team 2019).

3. Resultados

3.1. Controle de *E. heterophylla* com glyphosate

O sombreamento aumentou a sensibilidade de *E. heterophylla* ao glyphosate em todas as épocas (Figura 1 - A, B, C, D). Em ambientes sombreados, as doses a partir de 1110 g ha⁻¹ de glyphosate foram eficientes no manejo de *E. heterophylla*, com médias de controle acima de 90% aos 28 DAA do herbicida (Figura 1 - D). Entretanto, a pleno sol, nenhuma das doses de glyphosate foi eficiente no controle dessa espécie, mesmo aos 28 DAA do herbicida (Figura 1 - D). As médias de controle obtidas a pleno sol nas maiores doses de glyphosate foram inferiores a 75%, consideradas insatisfatórias.

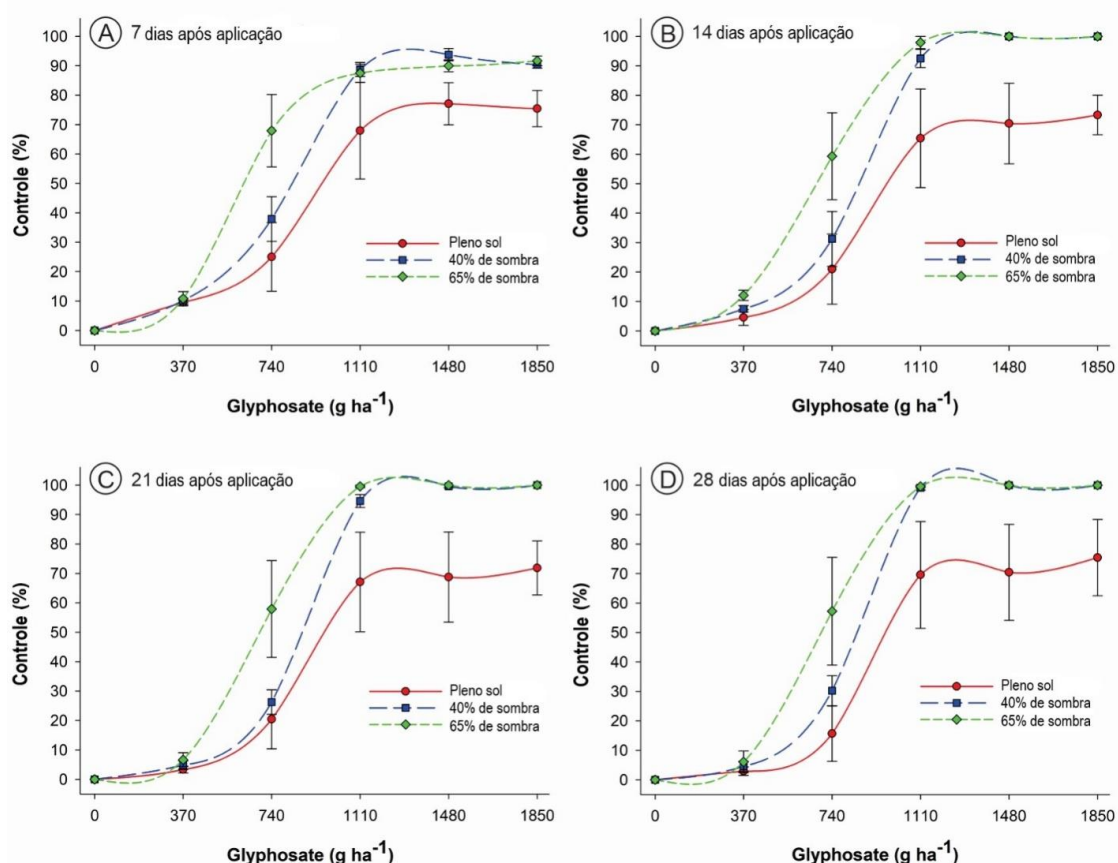


Figura 1. Controle de *E. heterophylla* aos 7 (A), 14 (B), 21 (C) e 28 (D) dias após aplicação (DAA) das doses do herbicida glyphosate, em ambientes com diferentes intensidades de luz. Barras = erro padrão da média.

A maior eficiência do glyphosate em ambiente sombreado também pode ser observada pela maior redução da massa fresca remanescente de *E. heterophylla* (Figura 2) obtida nesses ambientes, 28 DAA do herbicida em comparação ao pleno sol. Em sombreamento, para doses iguais ou superiores a 1110 g ha⁻¹ de glyphosate, observou-se ausência de material vegetal vivo na parte aérea de *E. heterophylla* (Figura 2). Por outro lado, após aplicação de 370 g ha⁻¹ de glyphosate, as plantas de *E. heterophylla* apresentaram incremento na produtividade de massa fresca a pleno sol e 65% de sombreamento em comparação às plantas testemunhas (Figura 2).

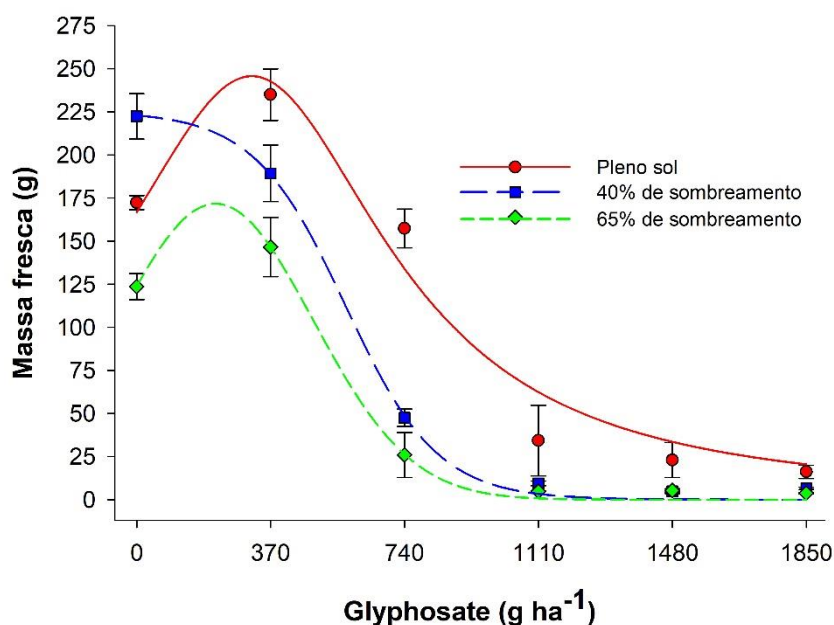


Figura 2. Massa fresca de *E. heterophylla* aos 28 dias após aplicação (DAA) das doses do herbicida glyphosate, em ambientes com diferentes intensidades de luz. Pleno sol: $y = 245,7367^{**}/1+(x-318,0297^{**}/462,1527^{**})^2$, $R^2 = 0,95$. 40% de sombreamento: $y = 225,2977^{**}/1+\exp[-(x-576,8047^{**}/126,5174^{**})]$, $R^2 = 0,99$. 65% de sombreamento: $Y = 269,2885^{**}\exp[-0,5(x-218,2264^{**}/269,2885^{**})^2]$, $R^2 = 0,99$. ** significativo a 1,0% pelo teste T. Barras = erro padrão da média.

3.2. Área média das folhas de *E. heterophylla*

O sombreamento aumentou em média 56% a área média das folhas de *E. heterophylla* em comparação às plantas cultivadas a pleno sol (Figura 3).

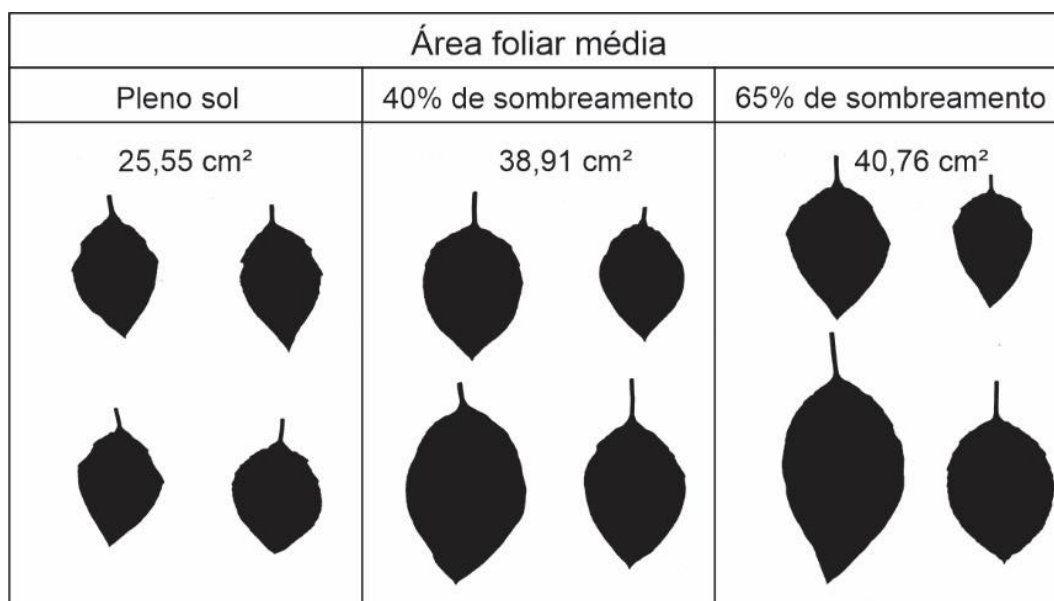


Figura 3. Área média das folhas de *E. heterophylla* em função de diferentes ambientes de crescimento.

3.3. Fluorescência da clorofila a

A redução na intensidade de luz aumentou a Φ_{PSII} e diminuiu a ETR (Tabela 1 e Figura 5). O aumento das doses aplicadas de glyphosate reduziu a Φ_{PSII} de *E. heterophylla*, independentemente do ambiente de cultivo (Figura 4). Para essa variável não houve interação entre os fatores. Em todas as doses testadas, plantas cultivadas a pleno sol apresentaram maior ETR, seguidas das dos ambientes de 40 e 65% de sombreamento, com exceção da dose de 1850 g ha⁻¹, em que a ETR foi semelhante para os ambientes a pleno sol e 40% de sombreamento (Figura 5).

Tabela 1. Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) de *E. heterophylla* em ambientes com diferentes intensidades de luz

Ambientes	Φ_{PSII}
Pleno Sol	0,290 b
40% de Sombreamento	0,372 a
65% de Sombreamento	0,400 a
CV (%)	24,55

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

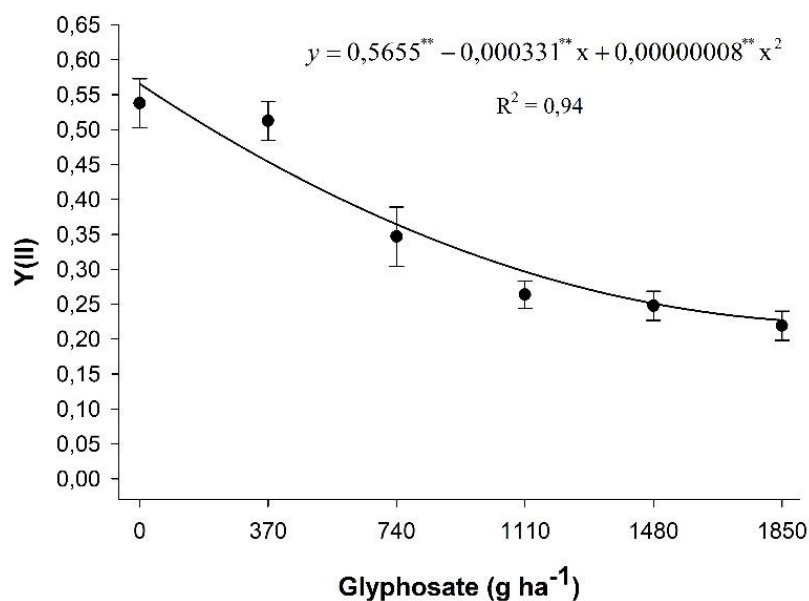


Figura 4. Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) de *E. heterophylla* 3 dias após aplicação (DAA) de diferentes doses do herbicida glyphosate. ** significativo a 1,0% pelo teste T. Barras = erro padrão da média.

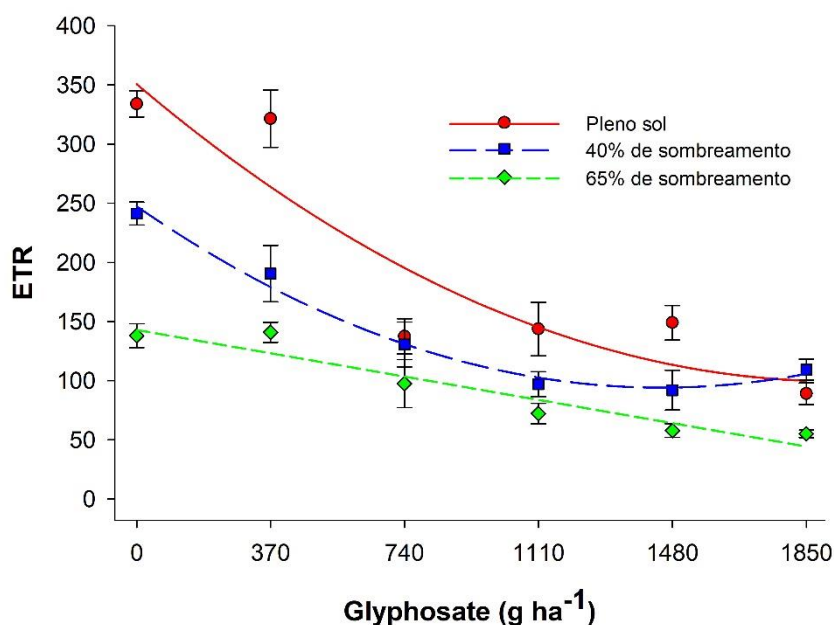


Figura 5. Taxa de transporte de elétrons (ETR) de *E. heterophylla* 3 dias após aplicação (DAA) das doses do herbicida glyphosate, em ambientes com diferentes intensidades de luz. Pleno sol: $y = 350,669^{**} - 0,2594^{**} x + 0,0000678^{**} x^2$, $R^2 = 0,847$; 40% de sombreamento: $y = 247,525^{**} - 0,2116^{**} x + 0,0000731^{**} x^2$, $R^2 = 0,987$; 60% de sombreamento: $y = 142,809^{**} - 0,05318^{**} x$, $R^2 = 0,911$. ** significativo a 1,0% pelo teste T. Barras = erro padrão da média.

3.4. Análise de correlação

As variáveis massa fresca, Φ_{PSII} e ETR apresentaram boa correlação negativa com o controle. Já as variáveis Φ_{PSII} e ETR apresentaram boa correlação positiva com a massa fresca. As variáveis Φ_{PSII} e ETR possuem baixa correlação entre si (Figura 6).

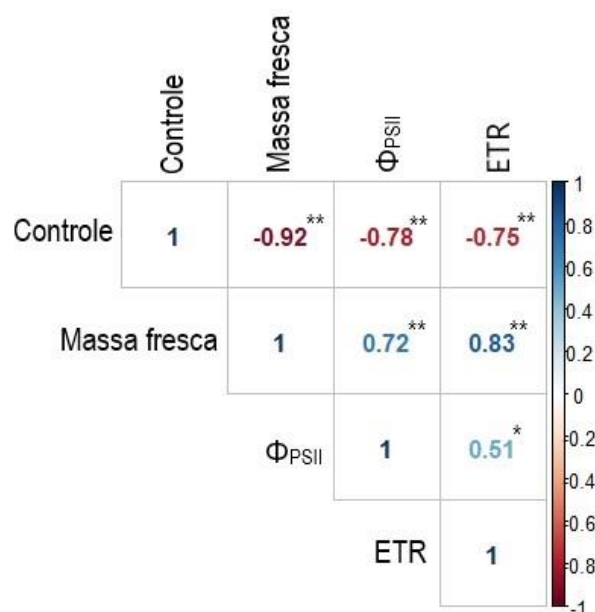


Figura 6. Correlação entre as variáveis controle aos 28 dias após aplicação (DAA) das doses do herbicida glyphosate, massa fresca, produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e taxa de transporte de elétrons (ETR). ** significativo a 5,0 e 1,0% pelo teste T, respectivamente.

4. Discussão

No presente estudo, plantas de *E. heterophylla* apresentaram maior controle pelo glyphosate e menor biomassa remanescente quando crescidas à sombra, em comparação aos indivíduos mantidos a pleno sol (Figura 1 e 2). Aos 28 DAA de 1110 g ha⁻¹ de glyphosate, o controle de *E. heterophylla* em sombreamento é superior a 95%, considerado excelente. Por outro lado, a pleno sol o controle da espécie não ultrapassou 75%, considerado insatisfatório, mesmo na maior dose testada (1850 g ha⁻¹). Essa diferença representa economia de 40% de produto aplicado, com melhores resultados de controle para os ambientes com restrição luminosa. Considerando a dose de controle recomendada pelo fabricante, que é de 2220 g ha⁻¹ de glyphosate para a fase adulta da planta (AGROFIT 2021), a economia em ambientes sombreados para o controle de *E. heterophylla* é de 50% de produto aplicado.

A possibilidade de redução de doses de glyphosate em ambiente sombreados traz relevante informação para áreas agrícolas e não agrícolas. Além das questões econômicas, a indicação da quantidade adequada de glyphosate para o controle de plantas daninhas ajuda a reduzir os seus impactos negativos no ambiente (Cecilia et al. 2018; Gélinas et al. 2018; Zoller et al. 2018; Agostini et al.

2020), tão questionados pela sociedade. Esses problemas se relacionam, em parte, à quantidade do produto utilizado nas aplicações.

Para que um herbicida exerça sua ação tóxica, é necessário que ele penetre na planta, transloque e atinja a organela em que irá atuar. Segundo Ferreira et al. (2003), as principais barreiras foliares à penetração de herbicidas em *E. heterophylla* são o alto teor de cera epicuticular, a elevada densidade de laticíferos e a grande espessura da cutícula da face adaxial. O sombreamento reduz a deposição de cera e a densidade de tricomas sobre as folhas (Giese 1975; Costa et al. 2020), enfraquecendo as principais barreiras à penetração de herbicidas nessa espécie, o que pode ter aumentado a penetração do glyphosate e conseqüentemente o seu controle.

A maior área média das folhas em sombreamento também pode aumentar a eficiência dos herbicidas, favorecendo a interceptação e a captação da calda pulverizada, fazendo com que uma maior parte do ingrediente ativo atinja o alvo. A expansão do limbo foliar das plantas em ambientes com restrição luminosa é uma adaptação morfológica para aumentar a interceptação e captação de luz (Li et al. 2010).

A maior eficiência de aplicação de herbicidas e a menor barreira à penetração desses produtos nas plantas, conjuntamente, podem ser as principais causas do aumento da eficiência do glyphosate no controle de *E. heterophylla* em sombreamento. Resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por Santos Júnior et al. (2013) e Costa et al. (2018). Esses autores observaram maior controle de *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus* (Santos Júnior et al. 2013) e *Macroptilium atropurpureum* (Costa et al. 2018) com glyphosate em sombreamento, em comparação ao obtido a pleno sol.

No presente estudo, plantas de *E. heterophylla* cultivadas a pleno sol e com 65% de sombreamento apresentaram maior massa fresca remanescente após aplicação da dose de 370 g ha⁻¹ de glyphosate (Figura 2). No momento da aplicação, as plantas se encontravam no início do florescimento, portanto, já no estágio reprodutivo. Plantas no estágio reprodutivo reduzem seu crescimento vegetativo em função da produção de frutos e sementes (Reekie e Bazzaz 1992). A dose de 370 g ha⁻¹ de glyphosate provocou a morte do meristema apical e abortamento das flores. Esse comportamento pode ser atribuído à rápida movimentação e ação do glyphosate nos ápices das plantas (Tuffi Santos et al. 2008; Palma-Bautista et al. 2019). Com isso, houve interrupção da fase reprodutiva, induzindo o desenvolvimento de gemas laterais e estendendo a fase vegetativa, com aumento da massa fresca de *E. heterophylla*, em comparação às plantas que não receberam a aplicação do herbicida (Figura 2).

As plantas crescidas em sombreamento são mais eficientes na utilização da luz em comparação às plantas a pleno sol (Figura 1). As plantas cultivadas a pleno sol estão expostas a níveis de radiação superiores e estão sujeitas a maior estresse provocado pelo excesso de luz, comum para plantas C3 em regiões tropicais (Krause et al. 1995). Plantas sob maiores níveis de radiação possuem maiores concentrações de carotenoides, pigmentos responsáveis pela dissipação do excesso de energia sob a forma de calor (Ajmi et al. 2018; Zhang et al. 2018).

A conversão da energia absorvida da luz em calor, também conhecido como *quenching* não fotoquímico, ajuda na proteção do aparelho fotossintético, porém, é um processo que compete com a fotoquímica, reduzindo a Φ_{PSII} . Barker e Adams (1997) encontraram menor eficiência do fotossistema II

nas faces de cladódios com maiores concentrações de carotenoides e expostas a maiores níveis de radiações em *Opuntia macrorhiza*. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Hazrati et al. (2016), que também observaram maior teor de pigmentos fotoprotetores, menor eficiência do fotossistema II e maior *quenching* não fotoquímico em plantas de *Aloe vera* a pleno sol, em comparação às plantas cultivadas em sombreamento. Li et al. (2010) atribuem a maior eficiência do fotossistema II e o menor *quenching* não fotoquímico em ambientes sombreados à maior quantidade de pigmentos fotossintéticos e ao menor dano ao fotossistema II. Essas características aumentam a absorção de luz e a sua utilização na fotoquímica.

Apesar da maior eficiência na utilização da luz, a redução dessa eficiência e da ETR provocada pelo glyphosate (Figura 4 e 5) é mais impactante para as plantas em ambientes sombreados, uma vez que essas plantas já estão em condição de restrição de luz. A maior falta de energia nessas plantas diminui as chances de se recuperarem dos sintomas fitotóxicos causados pelo glyphosate, contribuindo no seu maior controle.

O glyphosate é um herbicida inibidor da síntese dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. O aminoácido tirosina é um precursor da plastoquinona (Maeda e Dudareva 2012), importante aceptor de elétrons da cadeia transportadora de elétrons entre o fotossistema II e I (Buchanan e Wolosiuk 2017). A inibição da produção da tirosina após aplicação do glyphosate pode comprometer a produção da plastoquinona. A eritrose-4-fosfato também participa na rota do chiquimato (Maeda e Dudareva 2012) e é um composto importante na regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato no ciclo de Calvin-Benson (Buchanan e Wolosiuk 2017). A desregulação da eritrose-4-fosfato na rota do chiquimato após aplicação do herbicida glyphosate reduz os níveis de ribulose-1,5-bisfosfato no ciclo de Calvin-Benson, e concomitante com a redução da produção da plastoquinona, reduz a ETR, causando fotoinibição do fotossistema II (Christensen et al. 2003). O maior contato com o glyphosate em doses elevadas desse herbicida aumenta a intensidade desses processos, reduzindo a quantidade de energia que é utilizada na fotoquímica e, portanto, a Φ_{PSII} .

O uso de informações da fluorescência da clorofila das plantas apresentou boa correlação com o controle do glyphosate sobre *E. heterophylla* e possibilitou o melhor entendimento do efeito do ambiente sobre a ação do herbicida, dados ainda não registrados para essa importante planta daninha.

5. Conclusão

E. heterophylla crescendo em ambientes sombreados são mais sensíveis ao herbicida glyphosate. Nos ambientes de 40 e 65% de sombreamento, a dose de 1110 g ha⁻¹ de glyphosate é recomendada para o controle dessa espécie. A pleno sol, o glyphosate não apresentou controle satisfatório em nenhuma das doses testadas. Em sombreamento, a dose recomendada de controle é 40% inferior a maior dose utilizada a pleno sol e 50 % inferior à dose recomendada pelo fabricante. O sombreamento aumenta a área média das folhas e a Φ_{PSII} de *E. heterophylla* e reduz a ETR, em comparação aos resultados em ambiente a pleno sol. A aplicação de glyphosate provoca reduções na Φ_{PSII} independentemente do ambiente de cultivo e na ETR das plantas, indicando estresse causado pelo herbicida, com alta correlação com os dados de controle.

Referências

Agostinetto D, Ulguim AR, Vargas L, Silva JDG, Langaro AC. 2017. Morphophysiological

- characterization of wild poinsettia biotypes with low resistance to glyphosate. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(11):987–996.
- Agostini LP, Dettogni RS, Reis RS, Stur E, Santos EVW, Ventorim DP, Garcia FM, Cardoso RC, Graceli JB, Louro ID. 2020. Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies. *Sci Total Environ*. 705:135808.
- AGROFIT (Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários). 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.
- Ajmi A, Vázquez S, Morales F, Chaari A, El-Jendoubi H, Abadía A, Larbi A. 2018. Prolonged artificial shade affects morphological, anatomical, biochemical and ecophysiological behavior of young olive trees (cv. Arbosana). *Scientia Horticulturae*. 241:275–284.
- Artru S, Lassois L, Vancutsem F, Reubens B, Garré S. 2018. Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. *European Journal of Agronomy*. 97:38–47.
- Asgarpour R, Ghorbani R, Khajeh-Hosseini M, Golzardi F, Ilkaee MN. 2020. Seed longevity of spotted spurge and wild poinsettia under diverse environmental conditions. *Planta Daninha*. 38: e020189664.
- Barbagallo RP, Oxborough K, Pallett KE, Baker NR. 2003. Rapid, noninvasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiology*. 132(2):485–493.
- Barker DH, Adams WW. 1997. The xanthophyll cycle and energy dissipation in differently oriented faces of the cactus *Opuntia macrorhiza*. *Oecologia*. 109:353–361.
- Benbrook CM. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*. 28:1-15.
- Bonanseia RI, Filippi I, Wunderlin DA, Marino DJG, Amé MV. 2017. The fate of glyphosate and AMPA in a freshwater endorheic basin: An ecotoxicological risk assessment. *Toxics*, 6.
- Buchanan BB, Wolosiuk RA. 2017. Fotossíntese: Reações de Carboxilação. In: Taiz L, Zeiger E, Moller I A, Murphy A, *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. (Artmed), Porto Alegre. pp. 203-243.
- Cecilia D, Tang FHM, Coleman NV, Conoley C, Vervoort RW, Maggi F. 2018. Glyphosate dispersion, degradation, and aquifer contamination in vineyards and wheat fields in the Po Valley, Italy. *Water Research*. 146:37–54.
- Christensen MG, Teicher HB, Streibig JC. 2003. Linking fluorescence induction curve and biomass in herbicide screening. *Pest Management Science*. 59:1303–1310.
- Climate-Data. 2021. Dados climáticos para cidades mundiais. <https://pt.climate-data.org/>.
- Costa GA, Santos LDT, Ferreira GAP, Cruz LR, Machado VD, Rocha LM. 2018. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macropodium atropurpureum*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 22:819–824.
- Costa GA, Tuffi-Santos LD, Santos SA, Cruz LR, Sant’Anna-Santos BF, Santos IT, Tanaka FAO. 2020. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macropodium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. *South African Journal of Botany*. 131:302–309.
- Dai Y, Shen Z, Liu Y, Wang L, Hannaway D, Lu H. 2009. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma*

- hemsleyanum* Diels et Gilg. Environmental and Experimental Botany. 65:177–182.
- Dayan FE, Zaccaro ML de M. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. Pesticide Biochemistry and Physiology. 102:189–197.
- Dupont YL, Strandberg B, Damgaard C. 2018. Effects of herbicide and nitrogen fertilizer on non-target plant reproduction and indirect effects on pollination in *Tanacetum vulgare* (Asteraceae). Agriculture, Ecosystems and Environment. 262:76–82.
- Fernandes G, Aparicio VC, Bastos MC, Gerónimo E, Labanowski J, Prestes OD, Zanella R, Santos DR. 2019. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. Science of the Total Environment. 651:1377–1387.
- Ferreira EA, Procópio SO, Silva EAM, Silva AA, Rufino RJN. 2003. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil: IV - *Amaranthus deflexus*, *Amaranthus spinosus*, *Alternanthera tenella* e *Euphorbia heterophylla*. Planta Daninha. 21:263–271.
- Ferreira MF, Carolina T, Bracamonte E, Leonardo G. 2017. Effects of the herbicide glyphosate on non-target plant native species from Chaco forest. Ecotoxicology and Environmental Safety. 144:360–368.
- Folta KM, Maruhnich SA. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. Journal of experimental botany. 58:3099–3111.
- FAO and WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization). 2016. Pesticide Residues in Food 2016: Special Session of the Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues. Geneva.
- Freitas-Silva L, Araújo TO, Nunes-Nesi A, Ribeiro C, Costa AC, Silva LC. 2020. Evaluation of morphological and metabolic responses to glyphosate exposure in two neotropical plant species. Ecological Indicators. 113:106246.
- Galon L, Santin CO, Andres A, Basso FJM, Nonemacher F, Agazzi LR, Silva AF, Holz CM, Fernandes F F. 2018. Competitive interaction between sweet sorghum with weeds. Planta Daninha. 36.
- Gélinas P, Gagnon F, McKinnon C. 2018. Wheat preharvest herbicide application, whole-grain flour properties, yeast activity and the degradation of glyphosate in bread. International Journal of Food Science & Technology. 53:1597–1602.
- Gelmini GA, Victória Filho R, Novo MCSS, Adoryan ML. 2005. Resistência de *Euphorbia heterophylla* L. aos herbicidas inibidores da als na cultura da soja. Scientia Agricola. 62:452–457.
- Giese BN. 1975. Effects of light and temperature on the composition of epicuticular wax of barley leaves. Phytochemistry. 14:921–929.
- Gomes MP, Rocha DC, Moreira Brito JC, Tavares DS, Marques RZ, Soffiatti P, Sant'Anna-Santos BF. 2020. Emerging contaminants in water used for maize irrigation: Economic and food safety losses associated with ciprofloxacin and glyphosate. Ecotoxicology and Environmental Safety. 196:110549.
- Gommers CMM, Visser EJW, Onge KRS, Voeselek LACJ, Pierik R. 2013. Shade tolerance: When growing tall is not an option. Trends in Plant Science. 18:65-71.
- Hazrati S, Tahmasebi-Sarvestani Z, Modarres-Sanavy SAM, Mokhtassi-Bidgoli A, Nicola S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe*

- vera* L. *Plant Physiology and Biochemistry*. 106:141–148.
- Hernández V, Hellín P, Fenoll J, Flores P. 2019. Interaction of nitrogen and shading on tomato yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 255:255–259.
- Hitz T, Hartung J, Graeff-Hönninger S, Munz S. 2019. Morphological response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars to light intensity and red to far-red ratio. *Agronomy*. 9:1–15.
- Jiang CD, Wang X, Gao HY, Shi L, Chow WS. 2011. Systemic regulation of leaf anatomical structure, photosynthetic performance, and high-light tolerance in sorghum. *Plant Physiology*. 155:1416–1424.
- Krause H, Virgo A, Winter K. 1995. High susceptibility to photoinhibition of young leaves of tropical forest trees. *Planta*. 197:583–591.
- Landrigan PJ, Belpoggi F. 2018. The need for independent research on the health effects of glyphosate-based herbicides. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. 17:1-4.
- Lee SH, Tewari RK, Hahn EJ, Paek KY. 2007. Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania Somnifera* (L.) Dunal. plantlets. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 90:141–151.
- Li H, Jiang D, Wollenweber B, Dai T, Cao W. 2010. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*. 33:267–275.
- Lupi L, Bedmar F, Puricelli M, Marino D, Aparicio VC, Wunderlin D, Miglioranza KSB. 2019. Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. *Chemosphere*. 225:906–914.
- Maeda H, Dudareva N. 2012. The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants. *Annual Review of Plant Biology*. 63:73–105.
- Medalie L, Baker NT, Shoda ME, Stone WW, Meyer MT, Stets EG, Wilson M. 2020. Influence of land use and region on glyphosate and aminomethylphosphonic acid in streams in the USA. *Science of the Total Environment*. 707:136008.
- Meng F, Cao R, Yang D, Niklas KJ, Sun S. 2014. Trade-offs between light interception and leaf water shedding: A comparison of shade- and sun-adapted species in a subtropical rainforest. *Oecologia*. 174:13–22.
- Palma-Bautista C, Alcántara-de la Cruz R, Rojano-Delgado AM, Dellaferrera I, Domínguez-Martínez PA, Prado R. 2019. Low temperatures enhance the absorption and translocation of 14C-glyphosate in glyphosate-resistant *Conyza sumatrensis*. *Journal of Plant Physiology*. 240:153009.
- Panigrahy M, Ranga A, Das J, Panigrahi KCS. 2019. Shade tolerance in Swarnaprabha rice is associated with higher rate of panicle emergence and positively regulated by genes of ethylene and cytokinin pathway. *Scientific Reports*. 9:1–17.
- Pierik R, Wit M. 2014. Shade avoidance: phytochrome signalling and other aboveground neighbour detection cues. *Journal of experimental botany*. 65:2815–2824.
- R Core Team. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reekie EG, Bazzaz FA. 1992. Cost of reproduction as reduced growth in genotypes of two congeneric species with contrasting life histories. *Oecologia*. 90:21–26.
- Santos Júnior A, Tuffi Santos LD, Costa GA, Barbosa EA, Leite GLD, Machado VD, Cruz LR. 2013.

- Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. *Planta Daninha*. 31:213–221.
- Santos NMC, Amaral WG, Araújo FV, Ferreira EA, Castro BMC, Zanuncio JC, Pereira IM, Santos JB. 2019. Effects of the herbicide trifluralin in the initial development of *Piptadenia gonoacantha* (Fabales: Fabaceae). *International Journal of Phytoremediation*. 21:1323–1328.
- Sevillano I, Short I, Grant J, O'Reilly C. 2016. Effects of light availability on morphology, growth and biomass allocation of *Fagus sylvatica* and *Quercus robur* seedlings. *Forest Ecology and Management*. 374:11–19.
- Sukhova E, Khlopkov A, Vodeneev V, Sukhov V. 2020. Simulation of a nonphotochemical quenching in plant leaf under different light intensities. *Biochimica et Biophysica Acta – Bioenergetics*. 1861:148138.
- Trezzi MM, Felippi CL, Mattei D, Silva HL, Nunes AL, Debastiani C, Vidal RA, Marques A. 2005. Multiple resistance of acetolactate synthase and protoporphyrinogen oxidase inhibitors in *Euphorbia heterophylla* biotypes. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*. 4:101-109.
- Tuffi Santos LD, Santos JB, Ferreira FA, Oliveira JA, Bentivenha S, Machado AFL. 2008. Exsudação radicular de glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto. *Planta Daninha*. 26:369–374.
- Ulguim ADR, Agostinetto D, Vargas L, Silva JDG, Silva BM, Westendorff NDR. 2017. Agronomic factors involved in low-level wild poinsettia resistance to glyphosate. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12:51–59.
- USDA (United States Department of Agriculture). Natural Resources Conservation Services. Plant Database. <https://plants.sc.egov.usda.gov/core/profile?symbol=EUHE4>.
- Vidal RA, Trezzi MM, Prado R, Ruiz-Santaella JP, Vila-Aiub M. 2007. Glyphosate resistant biotypes of wild poinsettia (*Euphorbia heterophylla* L.) and its risk analysis on glyphosate-tolerant soybeans. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 5:265–269.
- Wilson AK. 1981. *Euphorbia heterophylla*: A review of distribution, importance and control. *Tropical Pest Management*. 27:32–38.
- Wit M, Keuskamp DH, Bongers FJ, Hornitschek P, Gommers CMM, Reinen E, Martínez-Cerón C, Fankhauser C, Pierik R. 2016. Integration of Phytochrome and Cryptochrome Signals Determines Plant Growth during Competition for Light. *Current Biology*. 26:3320–3326.
- Xu F, He S, Zhang J, Mao Z, Wang W, Li T, Hua J, Du S, Xu P, Li L, Lian H, Yang HQ. 2018. Photoactivated CRY1 and phyB Interact Directly with AUX/IAA Proteins to Inhibit Auxin Signaling in *Arabidopsis*. *Molecular Plant*. 11:523–541.
- Yasin M, Rosenqvist E, Andreasen C. 2017. The effect of reduced light intensity on grass weeds. *Weed Science*. 65:603–613.
- Yasin M, Rosenqvist E, Jensen S M, Andreasen C. 2019. The importance of reduced light intensity on the growth and development of six weed species. *Weed Research*. 59:130–144.
- Zhang D, Zhang L, Liu J, Han S, Wang Q, Evers J, Liu J, van der Werf W, Li L. 2014. Plant density affects light interception and yield in cotton grown as companion crop in young jujube plantations. *Field Crops Research*. 169:132–139.

- Zhang TJ, Zheng J, Yu ZC, Gu XQ, Tian XS, Peng CL, Chow WS. 2018. Variations in photoprotective potential along gradients of leaf development and plant succession in subtropical forests under contrasting irradiances. *Environmental and Experimental Botany*. 154:23–32.
- Zoller O, Rhyh P, Rupp H, Zarn JA, Geiser C. 2018. Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*. 11:83–91.

4.3 Artigo 3 – Controle de *Digitaria insularis* (L.) Fedde em florestas de eucalipto: o sombreamento aumenta a sensibilidade ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl

Este artigo foi elaborado conforme normas da revista Southern Forests: a Journal of Forest Science

Controle de *Digitaria insularis* (L.) Fedde em florestas de eucalipto: o sombreamento aumenta a sensibilidade ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl

Resumo: O sombreamento provoca mudanças nas características morfológicas e fisiológicas das plantas, que alteram suas respostas aos herbicidas. O glyphosate e o carfentrazone-ethyl são herbicidas importantes para o eucalipto, cultura na qual comumente são encontradas plantas daninhas em condições de sombreamento. O objetivo do estudo foi avaliar a influência da luz na eficiência do glyphosate e do carfentrazone-ethyl utilizados isolados e em mistura no controle de *Digitaria insularis* (L.) Fedde. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 3 x 6. O primeiro fator correspondeu a 3 ambientes de cultivo (pleno sol, 45 e 63% de sombreamento) e o segundo fator por doses de glyphosate e carfentrazone-ethyl aplicados isolados (1920 e 40 g ia ha⁻¹) e em mistura (1536 + 8; 1152 + 16; 768 + 24 e 384 + 32 g ia ha⁻¹), respectivamente. O sombreamento aumentou a sensibilidade de *D. insularis* ao glyphosate isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl. Em sombreamento, a aplicação de glyphosate isolado na dose de 1920 g ha⁻¹ e em mistura com carfentrazone-ethyl nas doses 1536 + 8 e 1152 + 16 g ha⁻¹ é eficiente no manejo de *D. insularis*. No ambiente de 63% de sombreamento, a dose de 768 + 24 g ha⁻¹ também é eficiente no manejo dessa espécie. A pleno sol, nenhuma das doses é eficiente para o controle de *D. insularis*, necessitando de doses maiores para o manejo dessa espécie em ambientes abertos. O carfentrazone-ethyl isolado não é eficiente no controle de *D. insularis*, independentemente do ambiente de cultivo, e parece não ter nenhuma influência na mistura no controle dessa espécie. O sombreamento aumenta a produtividade quântica do fotossistema II e reduz a taxa de transporte de elétrons, a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração de *D. insularis*. Em ambientes sombreados, é possível controlar *D. insularis* com doses menores de glyphosate, usado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl, reduzindo os custos e impactos ambientais. A intensidade de luz nos ambientes de cultivo precisa ser levada em consideração na definição de doses desses herbicidas.

Palavras-chave: capim amargoso, fisiologia, manejo de plantas daninhas, mistura de herbicidas, redução de doses

Introdução

O eucalipto é considerado a espécie florestal mais plantada no mundo (Myburg et al. 2014). Nesse cenário, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores (Gonçalves et al. 2013), obtendo altas produtividades de madeira por hectare/ano e menor período de rotação (IBÁ 2019).

O manejo de plantas daninhas é uma das práticas mais importantes no cultivo do eucalipto. Sem controle, a interferência das plantas daninhas pode acarretar perdas de até 40% na produtividade da floresta (Tarouco et al. 2009). Dentre os herbicidas registrados para a cultura do eucalipto no Brasil (MAPA 2020) e aceitos pelas certificadoras para uso na cultura (FSC 2019), estão o glyphosate e o carfentrazone-ethyl.

Os dosséis das florestas plantadas de eucalipto reduzem a radiação disponível no sub-bosque, sombreando a comunidade de plantas daninhas presentes nos cultivos (Mattos et al. 2020). Em ambientes sombreados, algumas plantas daninhas são mais sensíveis à ação do glyphosate, como *Cyperus rotundus*, *Commelina benghalensis* (Santos Júnior et al. 2013) e *Macroptilium atropurpureum*

(Costa et al. 2020), e de herbicidas inibidores da PROTOX, como *Commelina benghalensis* (Santos Júnior et al. 2019), e podem ser controladas com doses mais baixas desses produtos. A aplicação de herbicidas em doses menores com alta eficiência de controle, como ocorre em sombreamento, ajuda a reduzir os impactos negativos desses pesticidas no ambiente, tão questionados atualmente pela sociedade (Gélinas et al. 2018; Zoller et al. 2018; Fernandes et al. 2019; Leite et al. 2019; Lupi et al. 2019; Agostini et al. 2020; Medalie et al. 2020), além de reduzir os custos de produção.

A manutenção da viabilidade do glyphosate e do carfentrazone-ethyl é fundamental para o sucesso no manejo de plantas daninhas em cultivos de eucalipto. Para isso, é necessário criar estratégias que retardem o surgimento de biótipos de plantas daninhas resistentes. A mistura de herbicidas com diferentes mecanismos de ação aumenta o espectro de controle de plantas daninhas, reduz a pressão de seleção e atrasa o surgimento da resistência (Busi et al. 2020; Liu et al. 2020; Sharpe e Boyd 2020). Misturas de herbicidas também são utilizadas no controle de biótipos de plantas daninhas resistentes (Miller e Norsworthy 2016; Brunton et al. 2020; Pigatto et al. 2020; Zargar et al. 2020).

A mistura de glyphosate com herbicidas inibidores da PROTOX tem efeito aditivo e sinérgico para o controle de várias espécies de plantas daninhas de folhas largas e gramíneas (Werlang e Silva 2002; Ramires et al. 2010; Maciel et al. 2011). Entretanto, a forma como as plantas respondem às condições climáticas pode interferir na sensibilidade a misturas de produtos, uma vez que as características morfológicas e fisiológicas (Hazrati et al. 2016; Ajmi et al. 2018; Artru et al. 2018; Yasin et al. 2017, 2019) e a eficiência dos herbicidas quando aplicados isolados são alteradas em sombreamento (Santos Júnior et al. 2013, 2019; Costa et al. 2020).

A *Digitaria insularis* é uma espécie de difícil controle, com biótipos resistentes ao glyphosate e com resistência cruzada a herbicidas inibidores da ACCase (Carvalho et al. 2011; Gazola et al. 2019; Takano et al. 2018, 2020). *D. insularis* é uma gramínea perene considerada daninha em áreas urbanas (Gazola et al. 2019) e em culturas de milho (Gonçalves et al. 2015), soja (Gazziero et al. 2019), eucalipto (Souza et al. 2010), feijão-caupi (Neto et al. 2019), café (Carvalho et al. 2013) e pastagens (Chadhokar 1976).

A mistura entre glyphosate e carfentrazone-ethyl é uma estratégia interessante para atrasar o surgimento de biótipos resistentes a esses herbicidas e tem sido utilizada em plantios de eucalipto para o controle de plantas daninhas nas entrelinhas. Entretanto, o ambiente de crescimento das plantas daninhas promovido pelo eucalipto deve ser levado em consideração na avaliação da eficiência desses herbicidas. Objetivou-se avaliar o efeito do sombreamento na eficiência do glyphosate e carfentrazone-ethyl aplicados isolados ou em mistura no controle de *D. insularis*.

Material e Métodos

Área experimental e material vegetal utilizado

O experimento foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (16°40'58.1"S, 43°50'19.3"W). Köppen classifica o clima da região como Aw - tropical com estação seca no inverno (Climate-Data 2020).

Mudas de *D. insularis* foram produzidas a partir de perfilhos coletados de diferentes plantas em áreas com aplicações frequentes de glyphosate. As mudas foram transplantadas em vasos de 10 dm³

contendo substrato formado de solo arenoso e esterco bovino curtido na proporção 3:1 (volume:volume). Em cada vaso, foram cultivadas duas plantas de *D. insularis*, que foram levadas para os ambientes de cultivo após o transplantio. O solo utilizado no preparo do substrato apresentou as seguintes características: pH (água) = 5,3; matéria orgânica = 1,66 dag kg⁻¹, areia = 72 dag kg⁻¹; silte = 16 dag kg⁻¹ e argila = 12 dag Kg⁻¹. O substrato foi adubado com o fertilizante NPK 4-30-10, conforme recomendação de adubação para cultivo em vasos (Novais, 1991) e irrigado uma vez ao dia para manter a umidade próxima à capacidade de campo.

Delimitação experimental e tratamentos

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram estabelecidos em esquema fatorial 3 x 6, em que o primeiro fator foi constituído por plantas a pleno sol e 2 níveis de sombreamento (45 e 63%) e o segundo fator, por doses de glyphosate e carfentrazone-ethyl, aplicados isolados ou em mistura (Tabela 1).

Tabela 1: Glyphosate e carfentrazone-ethyl aplicados isolados ou em mistura no controle de *D. insularis*

Nome comum dos herbicidas	Nome comercial dos herbicidas	Doses (g ia ha ⁻¹)
Glyphosate	Roundup Original DI®	1920
Carfentrazone-ethyl	Aurora®	40
Glyphosate + carfentrazone-ethyl	Roundup Original DI® + Aurora®	1536 + 8
Glyphosate + carfentrazone-ethyl	Roundup Original DI® + Aurora®	1152 + 16
Glyphosate + carfentrazone-ethyl	Roundup Original DI® + Aurora®	768 + 24
Glyphosate + carfentrazone-ethyl	Roundup Original DI® + Aurora®	384 + 32

ia = ingrediente ativo.

Os sombreamentos foram obtidos com tela sombrite de polipropileno cor preta, instaladas em estruturas construídas com postes de madeira e arame a 2 m de altura e fechando as laterais. A incidência de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos ambientes de cultivo foi determinada em 20 amostras durante a execução do experimento, às 8:00, 12:00 e 16:00 horas, com o aparelho fluorômetro Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA) (Figura 1).

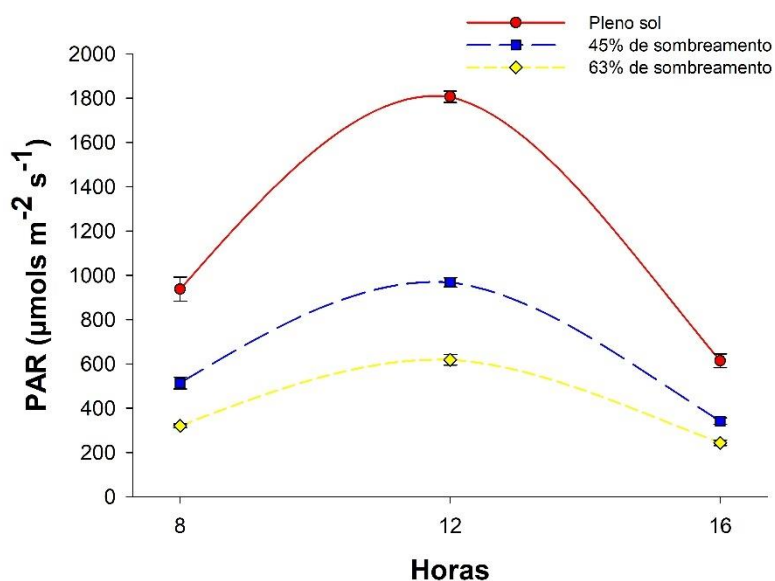


Figura 1: Disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos ambientes de crescimento em diferentes horários. Barras = erro padrão da média.

As plantas ficaram nos ambientes de cultivo por 52 dias. Durante esse período, foi realizado corte de uniformização aos 37 dias de cultivo, a 5 cm de altura. Aos 15 dias após o corte das plantas, foi feita a aplicação dos herbicidas. A aplicação foi feita com pulverizador costal pressurizado a CO₂ com ponta modelo TTI 11002 (Teejet, Wheaton, Illinois, USA) e válvula reguladora de pressão (Comam, Belo Horizonte, Brasil) constante a 300 kPa, regulada para aplicação de 116 L ha⁻¹ de calda.

Avaliações

Aos 3 e 6 dias após aplicação (DAA), foi determinada a taxa fotossintética (P_n , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a taxa transpiratória (E , $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) das plantas, utilizando o aparelho analisador de gás infravermelho (IRGA, model LI-6400xtr, LCI-PRO, Lincoln, Nebraska, USA). Aos 3 e 6 DAA, também foram determinadas a produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR), com o aparelho fluorômetro Y (II) meter (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA).

Foram realizadas avaliações visuais de controle aos 28 e 60 DAA, adotando-se a escala de 0 a 100%, em que 0 é a inexistência de efeitos tóxicos provocados pelo herbicida e 100 a morte total da planta. As notas de controle foram atribuídas por 3 avaliadores. Os valores por parcela foram determinados pela média aritmética das três notas. Aos 60 DAA, o material vegetal remanescente nos vasos foi coletado e pesado para determinação da massa fresca.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativas, as médias foram agrupadas pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). A ANOVA e o teste de agrupamento de médias Scott-

Knott foram realizados utilizando o programa estatístico R Studio (R Core Team 2019) e o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al. 2014).

Resultados

Controle

O sombreamento aumentou a sensibilidade de *D. insularis* ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl (Tabelas 2, 3 e 4). Aos 60 DAA, nos ambientes de 45 e 63% de sombreamento, a aplicação isolada de glyphosate na dose de 1920 g ha⁻¹ e em mistura com carfentrazone-ethyl nas doses 1536 + 8 e 1152 + 16 g ha⁻¹ foram eficientes no manejo de *D. insularis*. No ambiente de 63% de sombreamento, a aplicação de 768 + 24 g ha⁻¹ da mistura de glyphosate + carfentrazone-ethyl também foi eficiente no manejo dessa espécie (Tabela 3). Essas doses reduziram totalmente a massa fresca das plantas aos 60 DAA (Tabela 4). A pleno sol, nenhuma das doses aplicadas foi eficiente no controle de *D. insularis* (Tabelas 2, 3 e 4). Nesse ambiente, as plantas se recuperaram dos sintomas provocados pelos herbicidas, com notas de controle inferiores a 18% aos 60 DAA em comparação aos 28 DAA (Tabela 3). Em sombreamento, aos 60 DAA, as plantas também se recuperaram após a aplicação das doses 768 + 24 e 384 + 32 g ha⁻¹ para o ambiente de 45% e na dose 384 + 32 g ha⁻¹ no ambiente de 63% em comparação aos 28 DAA. O carfentrazone-ethyl aplicado isolado não é eficiente no controle de *D. insularis*, independentemente do ambiente de cultivo (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2: Controle (%) de *D. insularis* aos 28 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate (Gly) e carfentrazone-ethyl (Car) isolados ou em mistura, em ambientes com diferentes intensidades de luz

Herbicidas	Doses (g ia ha ⁻¹)	Ambientes		
		Pleno sol	45% de sombreamento	63% de sombreamento
Gly	1920	75,41 Ab	100,00 Aa	100,00 Aa
Car	40	7,50 Ca	5,00 Ca	3,33 Ba
Gly + Car	1536 + 8	70,83 Ab	100,00 Aa	100,00 Aa
Gly + Car	1152 + 16	54,58 Bb	87,91 Aa	100,00 Aa
Gly + Car	768 + 24	45,83 Bb	91,25 Aa	96,25 Aa
Gly + Car	384 + 32	15,83 Cc	38,54 Bb	87,91 Aa

CV (%) = 14,2

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ia = ingrediente ativo; CV = coeficiente de variação.

Tabela 3: Controle (%) de *D. insularis* aos 60 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate (Gly) e carfentrazone-ethyl (Car) isolados ou em mistura, em ambientes com diferentes intensidades de luz

Herbicidas	Doses (g ia ha ⁻¹)	Ambientes		
		Pleno sol	45% de sombreamento	63% de sombreamento
Gly	1920	17,91 Ab	100,00 Aa	100,00 Aa
Car	40	5,00 Aa	5,00 Da	5,00 Ca
Gly + Car	1536 + 8	13,75 Ab	100,00 Aa	100,00 Aa
Gly + Car	1152 + 16	17,08 Ac	85,00 Bb	100,00 Aa
Gly + Car	768 + 24	13,33 Ac	34,33 Cb	100,00 Aa
Gly + Car	384 + 32	10,41 Ab	14,58 Db	57,91 Ba
CV (%) = 17,43				

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ia = ingrediente ativo; CV = coeficiente de variação.

Tabela 4: Massa fresca (g/vaso) de *D. insularis* aos 60 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate (Gly) e carfentrazone-ethyl (Car) isolados ou em mistura, em ambientes com diferentes intensidades de luz

Herbicidas	Doses (g ia ha ⁻¹)	Ambientes		
		Pleno sol	45% de sombreamento	63% de sombreamento
Gly	1.920	150,20 Ba	0,00 Bb	0,00 Cb
Car	40	168,42 Bb	243,18 Aa	269,20 Aa
Gly + Car	1536 + 8	146,32 Ba	0,00 Bb	0,00 Cb
Gly + Car	1152 + 16	142,25 Ba	0,00 Bb	0,00 Cb
Gly + Car	768 + 24	222,46 Aa	211,89 Aa	0,00 Cb
Gly + Car	384 + 32	202,53 Aa	221,54 Aa	101,89 Bb
CV (%) = 35,51				

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ia = ingrediente ativo; CV = coeficiente de variação.

Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e taxa de transporte de elétrons (ETR)

O sombreamento aumentou a Φ_{PSII} e reduziu a ETR de *D. insularis* aos 3 e 6 DAA (Tabela 5). A aplicação de glyphosate isolado na dose de 1920 g ha⁻¹ e em mistura com carfentrazone-ethyl nas doses 1536 + 8 e 1152 + 16 g ha⁻¹ provocou as maiores reduções nessas variáveis aos 3 e 6 DAA (Tabela 6). O carfentrazone-ethyl aplicado isolado provocou menores impactos na Φ_{PSII} e ETR de *D. insularis*.

Tabela 5: Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e taxa de transporte de elétrons (ETR) de *D. insularis* em diferentes ambientes, aos 3 e 6 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate e carfentrazone-ethyl isolados ou em mistura

Ambientes	Variáveis			
	3 DAA		6 DAA	
	Φ_{PSII}	ETR	Φ_{PSII}	ETR
Pleno sol	0,2093 c	134,46 a	0,1255 c	91,98 a
45% de sombreamento	0,2780 b	92,95 b	0,2031 b	58,94 b
63% de sombreamento	0,3566 a	78,82 b	0,3473 a	50,50 b
CV (%)	33,66	35,13	48,70	63,98

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Tabela 6: Produtividade quântica do fotossistema II (Φ_{PSII}) e taxa de transporte de elétrons (ETR) de *D. insularis* aos 3 e 6 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate (Gly) e carfentrazone-ethyl (Car) isolados ou em mistura

Herbicidas	Doses (g ia ha ⁻¹)	Variáveis			
		3 DAA		6 DAA	
		Φ_{PSII}	ETR	Φ_{PSII}	ETR
Gly	1920	0,1716 b	62,87 c	0,0672 c	25,43 c
Car	40	0,3975 a	152,10 a	0,4064 a	117,15 a
Gly + Car	1536 + 8	0,2201 b	69,55 c	0,1712 b	49,74 c
Gly + Car	1152 + 16	0,2504 b	95,58 c	0,2115 b	57,36 c
Gly + Car	768 + 24	0,3006 a	111,56 b	0,2360 b	78,81 b
Gly + Car	384 + 32	0,3475 a	120,80 b	0,2596 b	74,35 b
CV (%)		33,66	35,13	48,70	63,98

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ia = ingrediente ativo; CV = coeficiente de variação.

Taxa fotossintética (P_n), condutância estomática (g_s) e taxa transpiratória (E)

Aos 3 e 6 DAA, o sombreamento reduziu a g_s e a E de *D. insularis* (Tabela 7). Aos 3 DAA, não houve diferença entre os ambientes de crescimento na P_n das plantas. Entretanto, aos 6 DAA, plantas em sombreamento apresentaram menor P_n . Aos 3 DAA, as doses que mais reduziram a P_n , g_s e E foram o glyphosate aplicado isolado na dose de 1920 g ha⁻¹ e em mistura com carfentrazone-ethyl nas doses 1536 + 8, 1152 + 16 e 768 + 24 g ha⁻¹. Aos 6 DAA, as doses que mais reduziram essas variáveis foram o glyphosate aplicado isolado na dose de 1920 g ha⁻¹ e em mistura com carfentrazone-ethyl nas doses 1536 + 8 e 1152 + 16 g ha⁻¹. O carfentrazone-ethyl aplicado isolado foi o tratamento que menos impactou a P_n , g_s e E de *D. insularis*.

Tabela 7: Taxa fotossintética (P_n), condutância estomática (g_s) e taxa transpiratória (E) de *D. insularis* em diferentes ambientes, aos 3 e 6 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate e carfentrazone-ethyl isolados ou em mistura

Ambientes	Variáveis					
	3 DAA			6 DAA		
	P_n	g_s	E	P_n	g_s	E
Pleno sol	9,18 a	0,0945 a	2,85 a	9,01 a	0,1333 a	2,89 a
45% de sombreamento	7,99 a	0,0629 b	2,28 b	6,74 b	0,0616 b	1,88 b
63% de sombreamento	7,18 a	0,0516 b	1,87 b	4,91 b	0,0433 b	1,24 c
CV (%)	42,63	40,23	30,77	46,53	51,16	35,44

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Tabela 8: Taxa fotossintética (P_n), condutância estomática (g_s) e taxa transpiratória (E) de *D. insularis*, aos 3 e 6 dias após a aplicação (DAA) de glyphosate (Gly) e carfentrazone-ethyl (Car) isolados ou em mistura

Herbicidas	Doses (g ia ha ⁻¹)	Variáveis					
		3 DAA			6 DAA		
		P_n	g_s	E	P_n	g_s	E
Gly	1920	4,62 c	0,050 c	1,77 c	2,84 c	0,039 b	1,19 c
Car	40	17,33 a	0,139 a	4,04 a	17,21 a	0,160 a	3,52 a
Gly + Car	1536 + 8	4,67 c	0,045 c	1,66 c	3,43 c	0,054 b	1,55 c
Gly + Car	1152 + 16	4,46 c	0,038 c	1,52 c	4,26 c	0,064 b	1,77 b
Gly + Car	768 + 24	6,03 c	0,055 c	1,97 c	6,37 b	0,084 b	2,12 b
Gly + Car	384 + 32	11,59 b	0,089 b	3,04 b	7,24 b	0,074 b	1,87 b
CV (%)		42,63	40,23	30,77	46,53	51,16	35,44

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ia = ingrediente ativo; CV = coeficiente de variação.

Discussão

A restrição de 45 e 63% na radiação fotossinteticamente ativa no ambiente de cultivo de *D. insularis* causa alterações na fisiologia da planta (Tabelas 5, 6, 7 e 8) e aumenta a sensibilidade das plantas ao glifosato, aplicado isolado ou em mistura com carfentrazone-ethyl (Tabelas 2, 3 e 4).

O aumento da sensibilidade de *D. insularis* ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl em sombreamento pode estar atrelada a menor ETR e P_n das plantas nesses ambientes (Tabelas 5 e 7). Essas variáveis estão relacionadas com a fixação do carbono e a energia das plantas (Saroussi et al. 2019). Plantas com menores reservas de energia têm menores chances de se recuperarem dos sintomas provocados pelos herbicidas, se tornando mais sensíveis à ação desses produtos (Tuffi Santos et al. 2004).

Além do déficit energético, alterações no crescimento de *D. insularis* provocadas pelo sombreamento também podem estar associadas à maior sensibilidade aos herbicidas. *D. insularis* apresenta rizomas, órgãos de reservas que, quando presentes, dificultam o seu controle (Gemelli et al. 2012). Plantas de *D. insularis* começam a produzir rizomas a partir dos 45 dias após a emergência (Machado et al. 2006). No presente estudo, os herbicidas foram aplicados aos 52 dias de cultivo, após o início da formação dessas estruturas a pleno sol. Entretanto, o sombreamento altera a partição de matéria seca das gramíneas, investindo maior quantidade de recursos no desenvolvimento da parte aérea em função do crescimento de raízes (Clarke et al. 1997; Fernández et al. 2004), que, aliado a menor ETR e P_n (Tabelas 5 e 7), pode ter atrasado ou comprometido o desenvolvimento dos rizomas e aumentado a sensibilidade de *D. insularis* em comparação ao pleno sol.

D. insularis é uma gramínea de metabolismo C4. Plantas de metabolismo C4 apresentam alto ponto de saturação de luz e temperatura (Black 1971). As reduções na ETR, P_n , g_s e E em *D. insularis* cultivada em sombreamento se devem à menor incidência de luz nesses ambientes (Figura 1). Esses resultados estão de acordo com os encontrados em outras gramíneas crescidas em sombreamento (Ubierna et al. 2013; Santos et al. 2017; Sales et al. 2018; Gomes et al. 2019).

O sombreamento também altera a deposição de cera na superfície foliar. A cera possui variadas funções, dentre as quais está a de reduzir a perda de água e a entrada de pesticidas (Kirkwood 1999; Shepherd e Griffiths 2006). Devido à redução da transpiração e à perda de água em sombreamento (Tabela 7), a deposição de cera também é menor nesses ambientes (Costa et al. 2020). A menor quantidade de cera em sombreamento pode aumentar a penetração dos herbicidas e consequentemente a sua eficiência.

Semelhantemente aos resultados do presente estudo, o aumento da sensibilidade a herbicidas em sombreamento foi observado para as espécies *Commelina benghalensis*, *Cyperus rotundus* e *Macroptilium atropurpureum* ao glyphosate (Santos Júnior et al. 2013; Costa et al. 2018), *Macroptilium atropurpureum* à mistura de glyphosate e carfentrazone-ethyl (Costa et al. 2018) e *Commelina benghalensis* ao saflufenacil (Santos Júnior et al. 2019).

O baixo controle obtido pelo carfentrazone-ethyl aplicado isolado, independentemente do ambiente de cultivo, é devido ao estágio avançado das plantas no momento da aplicação do herbicida. O carfentrazone-ethyl é um herbicida de contato, eficiente no controle de plantas em estágios iniciais de desenvolvimento (Concenço et al. 2012). O baixo controle obtido pela mistura de glyphosate e carfentrazone-ethyl na dose $384 + 32 \text{ g ha}^{-1}$, também independentemente do ambiente de cultivo, está associado à baixa dose de glyphosate utilizada na mistura. O carfentrazone-ethyl aplicado isolado na dose de 40 g ha^{-1} e em mistura com glyphosate na dose $384 + 32 \text{ g ha}^{-1}$ foram as doses que menos impactaram na fisiologia de *D. insularis* (Tabelas 6 e 8).

Embora o carfentrazone-ethyl isolado tenha baixa eficiência de controle em *D. insularis*, ele apresenta boa eficiência contra outras plantas daninhas resistentes ao glyphosate, como *Commelina* ssp. (Werlang e Silva 2002), e a sua utilização em mistura com glyphosate pode trazer benefícios no controle de *D. insularis* em sombreamento, como no presente estudo, e também contra outras plantas daninhas importantes. Essa mistura aumenta o espectro de ação para espécies tolerantes ao glifosato (Werlang e Silva 2002; Sharma e Singh 2007). Adicionalmente, a aplicação constante de glifosato, herbicida mais utilizado no mundo, levou à seleção de biótipos resistentes ao longo do tempo (Goh et al.

2018; Mora et al. 2019; Chen et al. 2020). O uso de dois ou mais herbicidas com diferentes modos de ação tem sido uma prática agrônômica interessante, pois, além de melhorar a eficiência do manejo de plantas daninhas de difícil controle (Kumar e Jha 2015; McCullough et al. 2015; Walsh et al. 2015), diminui a pressão de seleção de plantas daninhas resistentes (Busi et al. 2020).

As doses aplicadas isoladas de glyphosate e carfentrazone-ethyl não permitem fazer inferências sobre a natureza das interações entre os herbicidas aplicados em mistura. Entretanto, a aplicação de glyphosate isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl apresentou comportamento diferente em função da intensidade de luz nos ambientes de cultivo, indicando a necessidade de se considerar esse fator na definição de doses de controle. Estudos sobre a absorção e a translocação do glifosato e carfentrazone-ethyl em *D. insularis* cultivada em ambientes com diferentes intensidades de luz são necessários para elucidar os mecanismos envolvidos na tolerância da espécie quando cultivada a pleno sol.

Conclusão

O sombreamento de 45 e 63% da radiação fotossinteticamente ativa aumenta a sensibilidade de *D. insularis* ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl, sendo necessárias menores doses para o seu controle. A redução de doses de herbicidas em sombreamento reduz os custos com o controle, sendo uma informação relevante para a área florestal e para redução dos impactos negativos do uso de herbicidas no ambiente. A intensidade de luz nos ambientes de cultivo precisa ser levada em consideração na definição de doses de glyphosate, aplicado isolado ou em mistura com carfentrazone-ethyl.

Referências

- Agostini LP, Dettogni RS, Reis RS, Stur E, Santos EVW, Ventorim DP, Garcia FM, Cardoso RC, Graceli JB, Louro ID. 2020. Effects of glyphosate exposure on human health: Insights from epidemiological and in vitro studies. *Science of the Total Environment* 705:135808.
- AGROFIT. 2020. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil. Available at: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. [accessed on 14 December 2020].
- Ajmi A, Vázquez S, Morales F, Chaari A, El-Jendoubi H, Abadía A, Larbi A. 2018. Prolonged artificial shade affects morphological, anatomical, biochemical and ecophysiological behavior of young olive trees (cv. Arbosana). *Scientia Horticulturae* 241: 275–284.
- Artru S, Lassois L, Vancutsem F, Reubens B, Garré S. 2018. Sugar beet development under dynamic shade environments in temperate conditions. *European Journal of Agronomy* 97: 38–47.
- Black CC. 1971. Ecological Implications of dividing Plants into Groups with Distinct Photosynthetic Production Capacities. *Advances in Ecological Research* 7: 87-114.
- Brunton DJ, Boutsalis P, Gill G, Preston C. 2020. Control of thiocarbamate-resistant rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in wheat in southern Australia. *Weed Technology* 34: 19–24.

- Busi R, Powles SB, Beckie HJ, Renton M. 2020. Rotations and mixtures of soil-applied herbicides delay resistance. *Pest Management Science* 76: 487–496.
- Carvalho LB, Alves PLCA, Bianco S. 2013. Densidades de capim-amargoso afetando o crescimento inicial e o teor de macronutrientes do cafeeiro. *Planta Daninha* 31: 109–115.
- Carvalho LB, Cruz-Hipolito H, González-Torralva F, Costa Aguiar Alves PL, Christoffoleti PJ, Prado R. 2011. Detection of Sourgrass (*Digitaria insularis*) Biotypes Resistant to Glyphosate in Brazil. *Weed Science* 59: 171–176.
- Chadhokar PA. 1976. Control of *Digitaria insularis* (L.) mez in tropical pastures. *PANS* 22: 79–85.
- Chen J, Huang H, Wei S, Cui H, Li X, Zhang C. 2020. Glyphosate resistance in *Eleusine indica*: EPSPS overexpression and P106A mutation evolved in the same individuals. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 164: 203–208.
- Clarke C, Doolan P, Barron N, Meleady P, Sullivan O, Sullivan FO, Gammell P, Melville M, Leonard M, Clynes M. 1997. Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum*. *Journal of Experimental Botany* 48: 15–24.
- Climate-Data. 2020. Dados climáticos para cidades mundiais. Available at: <https://pt.climate-data.org/>. [accessed on 14 December 2020].
- Concenço G, Andres A, Galon L, Pontes CS, Correia VT. 2012. Controle de *Macroptilium lathyroides* com herbicidas aplicados em pré e pós-emergência. *Revista Brasileira de Herbicidas* 11: 11-23.
- Costa GA, Santos LDT, Ferreira GAP, Cruz LR, Machado VD, Rocha LM. 2018. Levels of shading and application of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22: 819–824.
- Costa GA, Tuffi-Santos LD, Santos SA, Cruz LR, Sant’Anna-Santos BF, Santos IT, Tanaka FAO. 2020. Efficiency of glyphosate and carfentrazone-ethyl in the control of *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb. under different light intensities. *South African Journal of Botany* 131: 302–309.
- Fernandes G, Aparicio VC, Bastos MC, Gerónimo E, Labanowski J, Prestes OD, Zanella R, Santos DR. 2019. Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. *Science of the Total Environment* 651: 1377–1387.
- Fernández ME, Gyenge JE, Schlichter TM. 2004. Shade acclimation in the forage grass *Festuca pallescens*: Biomass allocation and foliage orientation. *Agroforestry Systems* 60: 159–166.
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA. 2014. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. *Applied Mathematics* 05: 2952–2958.
- FSC. 2019. FSC Lists of Highly hazardous pesticides. Available at: <https://fsc.org/en/document-centre/documents/resource/315>. [accessed on 14 December 2020].
- Gazola T, Dias MF, Carbonari CA, Velini ED. 2019. Monitoring of resistance of sourgrass to glyphosate herbicide in urban areas of the state of São Paulo, Brazil. *Planta Daninha* 37: 019207210.
- Gazziero DLP, Adegas FS, Silva AF, Concenço G. 2019. Estimating yield losses in soybean due to sourgrass interference. *Planta Daninha* 37: 019190835.
- Gélinas P, Gagnon F, McKinnon C. 2018. Wheat preharvest herbicide application, whole-grain flour properties, yeast activity and the degradation of glyphosate in bread. *International Journal of Food Science & Technology* 53: 1597–1602.
- Gemelli A, Oliveira Junior RS, Constantin J, Braz GBP, Jumes TMC, Oliveira Neto AM, Dan HDA, Biffe

- DF. 2012. Aspectos da biologia de *Digitaria insularis* resistente ao glyphosate e implicações para o seu controle. *Revista Brasileira de Herbicidas* 11: 231-240.
- Goh SS, Yu Q, Han H, Vila-Aiub MM, Busi R, Powles SB. 2018. Non-target-site glyphosate resistance in *Echinochloa colona* from Western Australia. *Crop Protection* 112: 257–263.
- Gomes FJ, Pedreira CGS, Bosi C, Cavalli J, Holschuch SG, Mourão GB, Pereira DH, Pedreira BC. 2019. Shading Effects on Marandu Palisadegrass in a Silvopastoral System: Plant Morphological and Physiological Responses. *Agronomy Journal* 111: 2332–2340.
- Gonçalves RM, Meirelles WF, Figueiredo J, Balbi-Peña MI, Paccola-Meirelles LD. 2015. *Digitaria horizontalis* and *D. Insularis* as alternative hosts for *Pantoea ananatis* in brazilian maize fields. *Journal of Plant Pathology* 97: 177–181.
- Gonçalves JLM, Alvares CA, Higa AR, Silva LD, Alfenas AC, Stahl J, Ferraz SFB, Lima WP, Brancalion PHS, Hubner A, Bouillet JPD, Laclau JP, Nouvellon Y, Epron D. 2013. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management* 301: 6–27.
- Hazrati S, Tahmasebi-Sarvestani Z, Modarres-Sanavy SAM, Mokhtassi-Bidgoli A, Nicola S. 2016. Effects of water stress and light intensity on chlorophyll fluorescence parameters and pigments of *Aloe vera* L. *Plant Physiology and Biochemistry* 106: 141–148.
- Indústria Brasileira de Árvores (IBA). Report 2019. Available at www.iba.org [accessed 15 April 2020].
- Kirkwood RC. 1999. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. *Pesticide Science* 55: 69–77.
- Kumar V, Jha P. 2015. Control of Volunteer Glyphosate-Resistant Canola in Glyphosate-Resistant Sugar Beet. *Weed Technology* 29: 93–100.
- Leite GLD, Paulo PD, Tuffi-Santos LD, Alvarenga AC, Soares MA, Dourado LR, Bispo EPR. 2019. Efficacy of *Trichogrammatidae* species (Hymenoptera) submitted to the herbicide glyphosate. *Planta Daninha* 37: 019216439.
- Liu C, Neve P, Glasgow L, Wuerffel RJ, Owen MDK, Kaundun SS. 2020. Modeling the sustainability and economics of stacked herbicide-tolerant traits and early weed management strategy for waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) control. *Weed Science* 68: 179–185.
- Lupi L, Bedmar F, Puricelli M, Marino D, Aparicio VC, Wunderlin D, Miglioranza KSB. 2019. Glyphosate runoff and its occurrence in rainwater and subsurface soil in the nearby area of agricultural fields in Argentina. *Chemosphere* 225: 906–914.
- Machado AFL, Ferreira LR, Ferreira FA, Fialho CMT, Tuffi Santos LD, Machado MS. 2006. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. *Planta Daninha* 24: 641–647.
- Maciel CDG, Poletine JP, Amstalden SL, Gazziero DLP, Raimondi MA, Lima GRG, Oliveira Neto AM, Guerra N, Justiniano W. 2011. Misturas em tanque com glyphosate para o controle de trapoeraba, erva-de-touro e capim-carrapicho em soja RR®. *Revista Ceres* 58: 35–42.
- Mattos EM, Binkley D, Campoe OC, Alvares CA, Stape JL. 2020. Variation in canopy structure, leaf area, light interception and light use efficiency among Eucalyptus clones. *Forest Ecology and Management* 463: 118038.
- McCullough PE, Johnston CR, Reed TV, Yu J. 2015. Indaziflam Enhances Buckhorn Plantain (*Plantago lanceolata*) Control from Postemergence Herbicides. *Weed Technology* 29: 147–153.

- Medalie L, Baker NT, Shoda ME, Stone WW, Meyer MT, Stets EG, Wilson M. 2020. Influence of land use and region on glyphosate and aminomethylphosphonic acid in streams in the USA. *Science of the Total Environment* 707: 136008.
- Miller MR, Norsworthy JK. 2016. Evaluation of Herbicide Programs for Use in a 2,4-D-Resistant Soybean Technology for Control of Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Technology* 30: 366–376.
- Mora DA, Cheimona N, Palma-Bautista C, Rojano-Delgado AM, Osuna-Ruiz MD, Alcántara de la Cruz R, Prado R. 2019. Physiological, biochemical and molecular bases of resistance to tribenuron-methyl and glyphosate in *Conyza canadensis* from olive groves in southern Spain. *Plant Physiology and Biochemistry* 144: 14–21.
- Myburg AA, Grattapaglia D, Tuskan GA, Hellsten U, Hayes RD, Grimwood J, Jenkins J, Lindquist E, Tice H, Bauer D, Goodstein DM, Dubchak I, Poliakov A, Mizrachi E, Kullán ARK, Hussey SG, Pinard D, Van Der Merwe K, Singh P, Van Jaarsveld I, Silva-Junior OB, Togawa RC, Pappas MR, Faria DA. 2014. The genome of *Eucalyptus grandis*. *Nature* 510: 356–362.
- Neto FA, Oliveira Júnior JOL, Bezerra AAC, Silva Júnior GB, Albuquerque JAA, Zuffo AM, Aquino JPA, Borges AF. 2019. Floristic composition of weeds in a dystrophic Red-Yellow Argisol under the cultivation of cowpea, cv. BRS Novaera. *Australian Journal of Crop Science* 13: 767–772.
- Novais RF. 1991. Teores de nutrientes a serem adicionados ou atingidos em ensaios de vaso. In: Oliveira AJ, Garrido WE, Araújo JD, Lourenço S, Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa. pp 195-195.
- Pigatto CS, Tarouco CP, Nicoloso FT, Berghetti ÁLP, Leães GP, Werle IS, Ulguim A R. 2020. Barnyardgrass control using tank-mixed herbicides with saflufenacil and its influence in photosynthesis and chlorophyll fluorescence. *Ciência Rural* 50: 20190919.
- R Core Team. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ramires AC, Constantin J, Oliveira RS, Guerra N, Alonso DG, Biffe DF. 2010. Controle de *Euphorbia heterophylla* e *Ipomoea grandifolia* com a utilização de glyphosate isolado ou em associação com latifolicidas. *Planta Daninha* 28: 621–629.
- Sales CRG, Ribeiro RV, Hayashi AH, Marchiori PER, Silva KI, Martins MO, Silveira JAG, Silveira NM, Machado EC. 2018. Flexibility of C4 decarboxylation and photosynthetic plasticity in sugarcane plants under shading. *Environmental and Experimental Botany* 149: 34–42.
- Santos Júnior A, Freitas FCL, Santos IT, Silva DC, Paixão GP, Sedyama CS. 2019. Management of *Commelina benghalensis* with saflufenacil in shaded environments. *Planta Daninha* 37: 019178088.
- Santos Júnior A, Tuffi Santos LD, Costa GA, Barbosa EA, Leite GLD, MacHado VD, Cruz LR. 2013. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. *Planta Daninha* 31: 213–221.
- Santos MV, Ferreira EA, Valadão D, Oliveira FLR, Machado VD, Silveira RR, Souza MF. 2017. Parâmetros fisiológicos da braquiária em diferentes arranjos do sistema agrossilvipastoril. *Ciência Rural* 47: 20160150.
- Saroussi S, Karns DAJ, Thomas DC, Bloszies C, Fiehn O, Posewitz MC, Grossman AR. 2019. Alternative

- outlets for sustaining photosynthetic electron transport during dark-to-light transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 166: 11518–11527.
- Sharma SD, Singh M. 2007. Effect of timing and rates of application of glyphosate and carfentrazone herbicides and their mixtures on the control of some broadleaf weeds. *Horticultural Science* 42: 1221–1226.
- Sharpe SM, Boyd NS. 2020. Dowweed (*Murdannia nudiflora*) response to metsulfuron-methyl, trifloxysulfuron-sodium, and bentazon combinations. *Weed Technology* 34: 260–265.
- Shepherd T, Griffiths DW. 2006. The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytologist* 171: 469–499.
- Souza MC, Costa Aguiar Alves PL, Salgado TP. 2010. Interferência da comunidade infestante sobre plantas de *Eucalyptus grandis* de segundo corte. *Scientia Forestalis/Forest Sciences* 38: 63–71.
- Takano HK, Melo MSC, Ovejero RFL, Westra PH, Gaines TA, Dayan FE. 2020. Trp2027Cys mutation evolves in *Digitaria insularis* with cross-resistance to ACCase inhibitors. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 164: 1–6.
- Takano HK, Oliveira RS, Constantin J, Mangolim CA, Machado MFPS, Bevilaqua MRR. 2018. Spread of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*): Independent selections or merely propagule dissemination? *Weed Biology and Management* 18: 50–59.
- Tarouco CP, Agostinetto D, Panozzo LE, Santos LS, Vignolo GK, Ramos LOO. 2009. Períodos de interferência de plantas daninhas na fase inicial de crescimento do eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 1131–1137.
- Tuffi Santos LD, Meira RMSA, Santos IC, Ferreira FA. 2004. Efeito do glyphosate sobre a morfoanatomia das folhas e do caule de *Commelina diffusa* e *C. benghalensis*. *Planta Daninha* 22: 101–107.
- Tuffi Santos LD, Cardoso Filho O, Santos Júnior A, Sant'Anna-Santos BF, Felix RC, Leite FP. 2013. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. *Planta Daninha* 31: 491–499.
- Ubierna N, Sun W, Kramer DM, Cousins AB. 2013. The efficiency of C4 photosynthesis under low light conditions in *Zea mays*, *Miscanthus x giganteus* and *Flaveria bidentis*. *Plant, Cell and Environment* 36: 365–381.
- Walsh KD, Soltani N, Shropshire C, Sikkema PH. 2015. Weed Control in Soybean with Imazethapyr Applied Alone or in Tank Mix with Saflufenacil/Dimethenamid-P. *Weed Science* 63: 329–335.
- Werlang RC, Silva AA. 2002. Interação de glyphosate com carfentrazone-ethyl. *Planta Daninha* 20: 93–102.
- Yasin M, Rosenqvist E, Andreasen C. 2017. The effect of reduced light intensity on grass weeds. *Weed Science* 65: 603–613.
- Yasin M, Rosenqvist E, Jensen SM, Andreasen C. 2019. The importance of reduced light intensity on the growth and development of six weed species. *Weed Research* 59: 130–144.
- Zargar M, Bayat M, Astarkhanova T. 2020. Study of postemergence-directed herbicides for redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) control in winter wheat in southern Russia. *Journal of Plant Protection Research* 60: 7–13.
- Zoller O, Rhyn P, Rupp H, Zarn JA, Geiser C. 2018. Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance* 11: 83–91.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos experimentos conduzidos produzem informações relevantes no manejo mais assertivo de *M. cissoides* e *E. heterophylla* com glyphosate e *D. insularis* com glyphosate e carfentrazone-ethyl, adaptando as doses desses herbicidas às condições de luminosidade dos diferentes ambientes de crescimento dessas espécies, como prática de refinar a recomendação de doses.

O sombreamento aumentou a sensibilidade de *M. cissoides* e *E. heterophylla* ao glyphosate e *D. insularis* ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl, em comparação ao pleno sol. As reduções de doses em sombreamento variaram entre 40 e 50% de produto aplicado. O sombreamento também alterou a fisiologia das plantas, aumentando a Φ_{PSII} e reduzindo a ETR de *M. cissoides*, *E. heterophylla* e *D. insulares*. Em *D. insulares*, o sombreamento também reduziu a P_n , g_s e E . A aplicação de glyphosate provocou reduções em todas as variáveis fisiológicas avaliadas e em todos os experimentos conduzidos.

Devido à consistência dos resultados encontrados para as 3 espécies estudadas, juntamente ao observado na literatura, o aumento da sensibilidade ao glyphosate aplicado isolado e em mistura com outros herbicidas em plantas crescidas sob condições de restrição luminosa provavelmente se aplica a outras espécies de plantas daninhas.

A adequação de doses de glyphosate aplicado isolado e em mistura com carfentrazone-ethyl em sombreamento resultou em economia de produto aplicado, reduzindo os custos de controle e os impactos ambientais desses herbicidas, informações relevantes para a agricultura, e também para áreas não agrícolas.