

ANTÔNIO DOS SANTOS JÚNIOR

**HERBICIDAS COM POTENCIAL PARA O MANEJO DE PLANTAS
DANINHAS EM EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S237h
2017 Santos Júnior, Antônio dos, 1984-
Herbicidas com potencial para o manejo de plantas
daninhas em eucalipto / Antônio dos Santos Júnior. – Viçosa,
MG, 2017.
vii, 53f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Herbicidas. 2. *Glyphosate*. 3. Ervas daninhas.
4. Persistência. 5. Calagem dos solos. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação
em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 632.954

ANTÔNIO DOS SANTOS JÚNIOR

**HERBICIDAS COM POTENCIAL PARA O MANEJO DE PLANTAS
DANINHAS EM EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de julho de 2017.



Cintia Maria Teixeira Fialho

Evander Alves Ferreira

Lino Roberto Ferreira

Carlos Sigueyuli Sedyama

Francisco Claudio Lopes Freitas
Orientador

Aos meus pais Antônio e Lucimar,
às minhas irmãs Edvânia, Priscila, Izabela, Niceria
e aos meus sobrinhos Bernardo e Olívia.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade em cursar o Doutorado e de realização dos trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado concedida.

Ao professor e amigo Leonardo David Tuffi Santos pelo apoio e confiança ao longo da minha formação.

Ao professor Francisco Affonso Pereira, pela oportunidade de cursar o mestrado e início de doutorado sob sua orientação, muito obrigado pela oportunidade.

Ao professor Francisco Cláudio Lopes Freitas, pela oportunidade de cursar o doutorado sob sua orientação, a confiança em mim depositada, ao apoio e disponibilidade.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia, em especial Antônio Alberto da Silva, Lino Roberto Ferreira, que, juntamente com o professor Francisco Cláudio muito me ensinaram sobre a ciência de plantas daninhas.

Ao técnico em agropecuária da UFV, Luiz Henrique pelo valioso apoio e a todos os amigos do laboratório de plantas daninhas, pelo agradável convívio.

Aos estagiários, Daniela, Daniely, Vanucci, Lucas, Victor e Rita pela valiosa contribuição na condução e avaliação dos experimentos.

Aos amigos que contribuíram na caminhada, em especial Edimilson, Alexandra, Filipe, Jéssica, Tiago, Hellen e Comunidade da Paroquia de Fátima.

BIOGRAFIA

Antônio dos Santos Júnior, filho de Antônio dos Santos e Lucimar de Souza Santos, nasceu em Belo Horizonte – MG, em 30 de outubro de 1984.

Ingressou na Universidade Federal de Minas Gerais em 2007, graduando-se como Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2011. Em março de 2012 ingressou no Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em julho de 2013. No mesmo ano ingressou no Doutorado do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 17 de julho de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL	01
1.2. Literatura Citada.....	02
2. MANEJO DE <i>Commelina benghalensis</i> L. COM SAFLUFENACIL EM AMBIENTES SOMBREADOS	03
2.1. Resumo.....	03
2.2. Abstract.....	03
2.3. Introdução.....	04
2.4. Material e Métodos.....	05
2.5. Resultados e Discussão.....	07
2.6. Literatura Citada.....	12
3. USO DE FERTIACYL PÓS® PARA A PROTEÇÃO DE PLANTAS DE EUCALIPTO SUBMETIDO À DERIVA DE HERBICIDAS	15
3.1. Resumo.....	15
3.2. Abstract.....	15
3.3. Introdução.....	16
3.4. Material e Métodos.....	17
3.5. Resultados e Discussão.....	19
3.6. Literatura Citada.....	25
4. AÇÃO RESIDUAL DO AMINOPIRALIDE + 2,4-D EM ARGISSOLO SOB EFEITO DA CALAGEM	28
4.1. Resumo.....	28
4.2. Abstract.....	28
4.3. Introdução.....	29
4.4. Material e Métodos.....	30
4.5. Resultados e Discussão.....	31
4.6. Literatura Citada.....	36
5. AÇÃO RESIDUAL DO TRICLOPYR SOBRE MUDAS DE EUCALIPTO	40
5.1. Resumo.....	40
5.2. Abstract.....	40
5.3. Introdução.....	41
5.4. Material e Métodos.....	42
5.5. Resultados e Discussão.....	45
5.6. Literatura Citada.....	50
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

RESUMO

SANTOS JÚNIOR, Antônio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Herbicidas com potencial para o manejo de plantas daninhas em eucalipto.** Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

A pressão de seleção imposta pelo o uso repetitivo de glyphosate em cultivos homogêneos de eucalipto tem favorecido o aumento de plantas daninhas tolerantes, fazendo-se necessário o emprego de herbicidas alternativos para o manejo destas. Além disso, busca-se também a redução de danos causados ao eucalipto em razão da deriva de herbicidas por meio da adição de produtos protetores como Fertiactyl Pós[®] à calda. Diante do exposto, objetivou-se nesta pesquisa avaliar estratégias envolvendo uso de herbicidas com potencial para o manejo de plantas daninhas em eucalipto, por meio da condução dos seguintes trabalhos: manejo de *Commelina benghalensis* L. com saflufenacil em ambientes sombreados; uso de Fertiactyl Pós[®] na proteção de plantas de eucalipto submetidas à deriva de herbicidas; ação residual do aminopiralde + 2,4-D em argissolo sob efeito da calagem; ação residual do triclopyr sobre mudas eucalipto. Verificou-se que plantas de *Commelina benghalensis* crescidas em ambiente sombreados são mais suscetíveis ao saflufenacil. A adição do Fertiactyl Pós[®] à calda com os herbicidas glyphosate e 2,4-D reduziu a intoxicação das plantas de eucalipto em relação à aplicação dos respectivos herbicidas sem adição de Fertiactyl Pós[®]. A deriva da mistura glyphosate + 2,4-D potencializou a intoxicação das plantas do eucalipto em relação à aplicação isolada dos respectivos herbicidas e não houve resposta da adição do Fertiactyl Pós[®] na redução da intoxicação das plantas quando se aplicou os herbicidas em mistura. A calagem favorece a maior disponibilidade dos herbicidas aminopiralde + 2,4-D na solução do solo, que fica evidenciada pela maior intoxicação de plantas eucalipto transplantadas até 60 dias após aplicação, e reduz o período de ação residual dos herbicidas, de modo que no solo com calagem (pH 5,5) e sem calagem (pH 4,4) não houve prejuízo no crescimento de plantas transplantadas aos 90 e 150 dias após a aplicação, respectivamente. Mudas de eucalipto transplantadas 10 dias após a aplicação do triclopyr não tiveram o crescimento afetado pela ação residual do herbicida, indicando potencial de uso desse herbicida para o preparo de áreas em pré-plantio infestadas com espécies eudicotiledôneas perenizadas.

ABSTRACT

SANTOS JÚNIOR, Antônio, D.Sc., Federal University of Viçosa, July, 2017. **Herbicides with potential for weed management in eucalyptus.** Adviser: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

The selection pressure imposed by the repetitive use of glyphosate in homogenous eucalyptus cultivars has favored the increase of tolerant weeds, making it necessary to use alternative herbicides for their management. In addition, it is also sought to reduce the damage caused to eucalyptus due to the herbicide drift through the addition of protective products such as Fertiactyl Pós[®] to the syrup. In view of the above, the objective of this research was to evaluate strategies involving the use of herbicides with potential for weed management in eucalyptus, by conducting the following works: management of *Commelina benghalensis* L. with saflufenacil in shaded environments; use of Fertiactyl Pós[®] in the protection of eucalyptus plants submitted to herbicide drift; residual action of aminopyralid + 2,4-D on argisol under liming effect; residual action of triclopyr on eucalyptus seedlings. Plants of *Commelina benghalensis* grown in shaded environments have been found to be more susceptible to saflufenacil. The addition of Fertiactyl Pós[®] to the syrup with the glyphosate and 2,4-D herbicides reduced the intoxication of eucalyptus plants in relation to the application of the respective herbicides without the addition of Fertiactyl Pós[®]. The glyphosate + 2,4-D mixture enhanced the intoxication of the eucalyptus plants in relation to the application of the herbicides alone and there was no response from the addition of Fertiactyl Pós[®] in the reduction of plant intoxication when the herbicides were applied in a mixture. The liming favors the greater availability of the herbicides aminopyralid + 2,4-D in the soil solution, which is evidenced by the greater intoxication of eucalyptus plants transplanted up to 60 days after application, and reduces the period of residual action of the herbicides, in soil with liming (pH 5.5) and without liming (pH 4.4), there was no damage to the growth of transplanted plants at 90 and 150 days after application, respectively. Transplanted eucalyptus seedlings 10 days after triclopyr application did not show growth affected by the residual action of the herbicide, indicating potential use of this herbicide for the preparation of pre-planting areas infested with perennial eudicotyledone species.

1. INTRODUÇÃO GERAL

No manejo de plantas daninhas em cultivos homogêneos de eucalipto, a principal estratégia empregada está relacionada ao controle químico, com uso do glyphosate, aplicado na forma de jato dirigido, em pós-emergência das plantas infestantes. O glyphosate é um herbicida não seletivo e sistêmico, inibidor da enzima EPSPs (5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase) que por sua vez inibe a síntese de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano) essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Buchanan et al., 2000). No entanto, o uso repetitivo desta molécula tem apresentado elevado a pressão de seleção de espécies tolerantes a herbicidas deste mecanismo de ação (Tuffi Santos et al., 2013), fazendo-se necessário o emprego de novas ferramentas no manejo de plantas daninhas.

Desta forma, a utilização de herbicidas com outros mecanismos de ação como os mimetizadores de auxinas tem revelado com grande potencial devido à eficiência no controle de plantas daninhas dicotiledôneas tolerantes ao manejo adotado com glyphosate (Robinson et al. 2012; Walker et al. 2012). O herbicida triclopyr, bem como a mistura comercial entre 2,4-D e aminopiralde, apresentam amplo espectro de ação dentre as dicotiledôneas anuais e perenes. No entanto, a busca por informação acerca da persistência destes no ambiente deve ser levada em consideração, no intuito mitigar intoxicação para a cultura do eucalipto (Santos et al., 2006; Fast et al., 2011).

Também, a mistura em tanque do herbicida auxínico (2,4-D) e o glyphosate é uma prática amplamente recomendada para melhorar o controle de plantas daninhas tolerantes ao glyphosate em cultivos perenes, como lavouras de café e frutíferas. Entretanto, a deriva desta mistura pode causar danos em plantas de eucalipto, e o uso de produtos protetores como Fertiactyl Pós[®] pode contribuir na recuperação de plantas intoxicadas.

Outro grupo de herbicidas empregado no manejo de plantas daninhas tolerantes ao glyphosate são os inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), com destaque para o carfentrazone e o saflufenacil sendo estes, recomendado para controle de espécies como a *Commelina benghalensis* e *C. diffusa*, as quais são amplamente adaptadas às condições de sombreamento, condição comum em áreas cultivadas com eucalipto, e ainda, segundo Santos et al. (2006) são espécies tolerantes ao glyphosate.

Diante da importância do manejo de plantas daninhas com herbicidas em povoamentos de eucalipto, questões referentes ao impacto dessa prática no ambiente são levantadas, principalmente sobre o uso de herbicidas para o controle de espécies

tolerantes ao glyphosate. Deste modo torna-se, necessário avaliar e propor estratégias racionais para o manejo de plantas daninhas em florestas de eucalipto, bem como, o impacto ao meio ambiente e possível danos à cultura.

Neste contexto e diante da busca por alternativas de manejo das plantas daninhas, que são de extrema importância para a manutenção das atividades silviculturais, objetivou-se com o presente trabalho avaliar herbicidas com potencial para o manejo de plantas daninhas em eucalipto.

1.2. LITERATURA CITADA

Buchanan B.B. et al. **Biochemistry and molecular biology of plants**. 3.ed. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.

Fast B.J. et al. Aminopyralid soil residues affect rotational vegetable crops in Florida. **Pest Management Science**. 2011; 67: 825-30.

Malik J., Barry G., Kishore G. The herbicide glyphosate. **Biofactores**. 1986; 2: 17-25.

Robinson A.P. et al. Summer annual weed control with 2,4-D and glyphosate. **Weed Technology**. 2012; 26: 657-60.

Santos M.V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**. 2006; 24: 391-8.

Tuffi Santos L.D. et al. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**. 2013; 31: 491-9.

Walker S. et al. Weed age affects chemical control of *Conyza bonariensis* in fallows. **Crop Protection**. 2012; 38: 15-20.

2. MANEJO DE *Commelina benghalensis* L. COM SAFLUFENACIL EM AMBIENTES SOMBREADOS

2.1. RESUMO

O uso repetitivo de glyphosate no controle de plantas daninhas em plantios de eucalipto tem selecionado espécies tolerantes a este herbicida, como a *Commelina benghalensis* L.. Diante disso, torna-se necessário a aplicação de herbicidas de outros mecanismos de ação, como o saflufenacil, em rotação ou em mistura com o glyphosate para reduzir os danos causados por *C. benghalensis*, cuja sensibilidade aos herbicidas pode ser influenciada pelo sombreamento imposto pela cultura do eucalipto. Objetivou-se avaliar a eficiência do saflufenacil no manejo da *C. benghalensis* em diferentes níveis de sombreamento. Foram realizados três ensaios, sendo cada um referente a determinado nível de sombreamento (ambiente de cultivo com 0, 40 e 55% de sombra), seguindo o mesmo delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco doses de herbicida 0; 24,5; 49; 73,5; 98 g ha⁻¹ de saflufenacil e quatro repetições. Aos 28 dias após a aplicação do herbicida, avaliou-se a porcentagem de controle e a massa da matéria seca da parte aérea, bem como a alocação de biomassa para folhas, caules e raízes das plantas de *C. benghalensis*. Plantas cultivadas a 0% de sombra obtiveram maior acúmulo de matéria seca e melhor distribuição de biomassa em folhas, caule e raízes, contribuindo com o aumento da tolerância ao saflufenacil, não sendo controladas com eficácia nas doses avaliadas. À medida que se aumentou o sombreamento, plantas de *C. benghalensis* alocaram maior parte de sua biomassa para a parte aérea, em especial para as folhas, reduzindo suas estruturas de reserva e elevando a área de contato com o herbicida, tornando-as mais susceptíveis ao saflufenacil.

Palavras-chave: sombreamento, controle químico, alocação de biomassa, planta daninha, trapoeraba.

2.2. ABSTRACT

The repetitive use of glyphosate in the control of weeds in eucalyptus plantations has selected tolerant species to this herbicide, such as *Commelina benghalensis* L.. Therefore, it is necessary to apply herbicides of other mechanisms of action, such as saflufenacil, in rotation or in combination with glyphosate to reduce damage caused by

C. benghalensis, whose sensitivity to herbicides may be influenced by the shading imposed by the eucalyptus crop. The objective of this study was to evaluate the efficiency of saflufenacil in the management of *C. benghalensis* at different levels of shading. Three experiments were carried out, each one concerning a certain level of shading (cultivation environment with 0, 40 and 55% shade), following the same experimental design in randomized blocks, with five doses of herbicide 0; 24.5; 49; 73.5; 98 g ha⁻¹ of saflufenacil and four replicates. After 28 days of application of the herbicide, the control percentage and dry matter mass of the aerial part were evaluated, as well as the biomass allocation to leaves, stems and roots of *C. benghalensis* plants. Plants cultivated at 0% of shade obtained greater accumulation of dry matter and a better distribution of biomass in leaves, stem and roots, contributing with the increase of the tolerance to saflufenacil, being not controlled with efficiency in the evaluated doses. As shading increased, *C. benghalensis* plants allocated most of their biomass to the aerial part, especially to the leaves, reducing their reserve structures and elevating the area of contact with the herbicide, making them more susceptible to saflufenacil.

Key-word: shading, chemical control, allocated of biomass, weed, benghal dayflower.

2.3. INTRODUÇÃO

A restrição luminosa ocorre naturalmente com o crescimento de culturas, especialmente, aquelas de maior porte como as espécies florestais, ocasionando mudanças morfofisiológicas na flora infestante. Dentre as adaptações encontradas nas plantas desenvolvidas em condições de sombra tem-se o aumento da área do limbo foliar, menor deposição de ceras epicuticulares nas folhas, bem como a redução da cutícula sobre a epiderme (Taiz & Zeiger, 2010). Tais características, aliadas a alterações no ângulo foliar e aumento no grau de abertura estomática (Taiz & Zeiger, 2010), proporcionam condições favoráveis à interceptação e absorção de herbicida pelas folhas. Logo, o sombreamento exercido pelas culturas sobre a comunidade infestante pode ser uma alternativa viável, no sentido de reduzir a dose aplicada de herbicidas (Santos Júnior et al., 2013; Santos et al., 2015).

Dentre as plantas daninhas infestantes em plantios de eucalipto a espécie *Commelina benghalensis* L. (trapoeraba) destaca-se por ser tolerante ao glyphosate, herbicida atualmente mais utilizado na eucaliptocultura, e ao sombreamento, condição comumente encontrada em sub-bosque, favorecendo a seleção desta espécie (Costa et

al., 2004; Lorenzi, 2008). Ainda, *C. benghalensis* apresenta elevada competitividade com o eucalipto, podendo causar perdas significativas em massa de matéria seca de folhas, caule e raízes (Costa et al., 2004; Faustino, 2015).

O aumento do nível de sombreamento imposto pelo desenvolvimento da cultura pode influenciar significativamente na tolerância de *C. benghalensis* ao controle químico, em função da modificação das estruturas protetoras como tricomas e ceras epicuticulares que conferem tolerância ao manejo com herbicidas (Monquero et al., 2005; Santos et al., 2015). Por outro lado, devido à característica inata da espécie *C. benghalensis* em tolerar o herbicida glyphosate, faz-se necessário o uso de herbicidas de outros mecanismos de ação, aplicados isoladamente ou em misturas no intuito de reduzir a pressão de seleção, e conseqüentemente, o aumento da população desta espécie infestante.

Desta maneira, o emprego do saflufenacil, herbicida inibidor da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), tem se apresentando como alternativa para o manejo de *C. benghalensis* na cultura do eucalipto. Ao inibir a enzima Protox nos tilacóides tem-se o acúmulo de protoporfirina IX no citoplasma da célula, que quando associado à luz e oxigênio forma-se espécies reativas de oxigênio causando peroxidação das membranas (Oliveira Jr., 2011).

Nesse contexto objetiva-se com o presente trabalho avaliar a eficiência do saflufenacil no manejo da *Commelina benghalensis* em diferentes níveis de sombreamento.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os meses de janeiro a julho de 2015 no município de Viçosa – MG (longitude 42°52'54'' W e latitude 20°45'10'' S), sob fotoperíodo médio de 6,3 horas diário.

Foram utilizadas mudas de *Commelina benghalensis* provenientes de plantas em pleno estágio vegetativo, ou seja, antes de emitir inflorescências. Para obtenção das mudas, seccionou-se o caule das plantas em estacas com aproximadamente 5,0 cm de comprimento, contendo dois nós e duas folhas expandidas cortadas ao meio que foram colocadas em bandejas, contendo substrato de fibra de coco. Aos 30 dias após o plantio das estacas, as mudas com aproximadamente três folhas expandidas foram transplantadas para vasos com capacidade 10,0 L, preenchidos com solo (Tabela 1) previamente corrigido com 0,30 g dm⁻³ de calcário e adubado com 1,68 g dm⁻³ de

superfosfato triplo, 0,22 g dm⁻³ de cloreto de potássio, 0,33 g dm⁻³ de sulfato de amônio. Ainda, aos 40 dias após o transplântio das mudas (DAT), realizou-se poda na parte aérea da trapoeraba para a uniformização do desenvolvimento vegetativo e adubação de cobertura com 0,33 g dm⁻³ de sulfato de amônio por vaso.

Tabela 1 - Análise química e granulométrica do solo.

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----								---%---	dag kg ⁻¹	
4,4	1,1	23	0,1	0,1	1,7	7,43	0,26	1,96	7,69	3,0	87,0	2,75
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural				Tipo de Solo		
-----%-----												
57		21		22		Argila				Argiloso		

pH em água; P e K⁺ – Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ – Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica.

Foram realizados três experimentos em cada de vegetação, sendo estes alocados nos respectivos ambientes de cultivo com 0, 40 e 55% de sombra. Sendo cada experimento instalado seguindo o delineamento experimental em blocos casualizados com cinco doses de saflufenacil: 0; 24,5; 49; 73,5; 98 g ha⁻¹ e quatro repetições. Os níveis de sombreamento foram obtidos por meio de telas de polipropileno (sombrites), cor preta, com 60 e 45 % transmissão de luz.

A aplicação do saflufenacil ocorreu aos 70 dias após o transplântio das mudas, em plantas com aproximadamente 20 cm de altura e 50 cm de comprimento dos ramos. Foi utilizado para a aplicação pulverizador costal pressurizado a CO₂, equipado com pontas TT110.02 espaçadas de 0,5 m, a uma altura das pontas até o alvo de 0,5 m, sendo calibrado para aplicação de 140 L ha⁻¹ de calda, operando na pressão de 300 kPa.

Aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação do herbicida (DAA) realizou-se avaliações visuais de controle (ALAM,1974), adotando-se escala de 0 a 100 %, onde 0 % é ausência de fitotoxicidade e 100 %, morte da planta. Para a variável porcentagem de rebrota aos 28 DAA, adotou-se escala que varia de 0 a 100%, onde 0% não houve rebrota, ou seja, emissão de folhas novas e 100% significa que todos os ramos afetados pelo herbicida recuperaram da intoxicação emitindo brotação.

A determinação da massa da matéria seca das folhas, caule, raiz e total foi realizada aos 28 DAA, mediante a coleta de todo o material vegetal remanescente nos vasos, no qual foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até atingir massa constante. Ainda, nas

testemunhas sem aplicação de herbicidas aos 28 DAA, foi determinada a razão de massa foliar (RMF), de caule (RMC) e de raiz (RMR) (Hunt, 1990).

Já a extração dos pigmentos clorofilas *a*, *b* e carotenóides, foi realizada em amostras foliares provenientes das testemunhas aos 28 DAA com o auxílio de acetona 80% v/v e estimado em espectrofotômetro (Lichtenthaler, 1987). Posteriormente, determinou-se a concentração de clorofilas (*Cl*) totais (*a + b*) (mg g^{-1} MF), carotenóides totais (*Car*) (mg g^{-1} MF), razão clorofila *a* e clorofila *b* (*Cl a/b*), razão clorofilas totais e carotenóides (*Cl/Car*).

Os dados dos três experimentos foram submetidos à análise de variância conjunta. Para as variáveis de alocação de biomassa, de pigmentos e porcentagem de rebrota realizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a variável porcentagem de intoxicação foi ajustada equações não lineares ao nível de 5% de probabilidade, já para a massa da matéria seca foi ajustado equações de regressão, sendo as médias dos tratamentos comparadas entre si, por meio do desvio padrão da média. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o Software Statistical Analysis System – SAS®.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *C. benghalensis* quando desenvolvida em ambientes com restrições luminosas com 40 e 55% de sombreamento, mostrou-se menos tolerante ao saflufenacil, quando comparada às plantas a 0% de sombra, independente da dose utilizada (Figuras 1). Aos 28 dias após a aplicação (DAA) plantas submetidas a 55% de interceptação luminosa mostraram-se mais susceptíveis ao herbicida, quando comparada aos níveis de 0 e 40% de sombra, obtendo resposta superior em controle de 50,7 e 24,1%, respectivamente, na dose de $24,5 \text{ g ha}^{-1}$ de saflufenacil (Figura 1d).

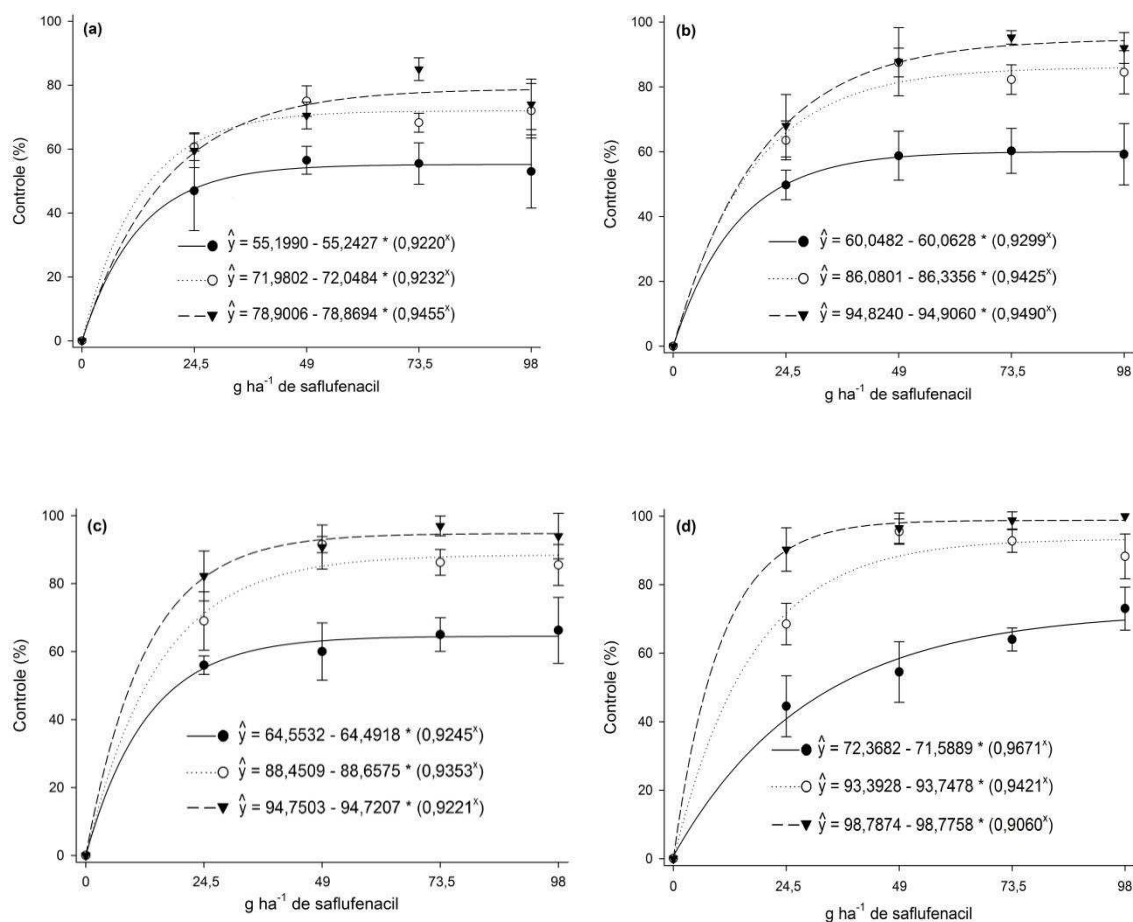


Figura 1 - Porcentagem de controle da *Commelina benghalensis* desenvolvida sob 0 % de sombra (—●), 40 % de sombra (.....○) e 55 % de sombra (—▼), aos 7 (a), 14 (b), 21 (c) e 28 (d) dias após a aplicação do saflufenacil.

A resposta da *C. benghalensis* ao saflufenacil é rápida, principalmente, em ambientes como maior luminosidade (0% de sombra), em função do mecanismo de ação deste herbicida que gera acúmulo de protoporfirina IX no citoplasma das células que ao interagir com luz e oxigênio, proporciona a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO's), causando peroxidação das membranas celulares e necrose das folhas (Grossmann et al., 2010; Oliveira Jr., 2011). Osipe et al. (2010), em trabalho com *Conyza canadensis*, observaram controle acima de 90% aos 7 DAA quando manejada com saflufenacil, evidenciando o rápido efeito deste herbicida. Por outro lado, quando desenvolvida em ambientes sombreados, a *C. benghalensis* apresentam-se com maior área foliar e menor deposição de ceras epicuticulares, o que favorece a penetração e o posterior controle com glyphosate (Santos Júnior et al., 2013; Santos et al., 2015). Fato, que pode ter contribuído também, para o efeito mais rápido e em maior intensidade do saflufenacil nas plantas mantidas em ambientes como menor luminosidade (40 e 55%

de sombra), mesmo estas sendo mantidas nas respectivas intensidades de luminosidade após a aplicação. Enquanto que as plantas que cresceram sem restrição de luminosidade e que foram mantidas neste ambiente após a aplicação, estão sujeitas à menor absorção do herbicida e também à ação mais rápida do mesmo, com efeito, mais superficial e em menor profundidade, justificando a baixa eficiência nesta condição aos 28 DAA (Figura 1d).

Na Tabela 2, observa-se maior partição de biomassa para a área foliar e caule das plantas de *C. benghalensis*, quando desenvolvida em condições de restrição luminosa. A alocação de biomassa para as folhas foi superior em 55,3, 64,7 e 82,7% quando comparada ao acumulado no sistema radicular nos níveis de sombreamento de 0, 40 e 55% de sombra, respectivamente, enquanto que para, os mesmos níveis de sombreamento, o acúmulo de matéria seca do caule em relação às raízes foi superior em 32,3, 41,9 e 76,9% (Tabela 2).

Tabela 2 – Razão massa foliar (RMF), caulinar (RMC) e radicular (RMR) de *Commelina benghalensis* desenvolvida em diferentes ambientes de cultivos aos 28 dias após aplicação (DAA).

Ambiente	RMF	RMC	RMR
kg kg ⁻¹			
0% de sombra	0,47 ± 0,02b	0,31 ± 0,02b	0,21 ± 0,03a
40% de sombra	0,51 ± 0,02ab	0,31 ± 0,03b	0,18 ± 0,0a
55% de sombra	0,52 ± 0,01a	0,39 ± 0,02a	0,09 ± 0,03b

Medias e ± desvio padrão. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A partição mais uniforme dos fotoassimilados entre as folhas (0,47), caule (0,31) e raízes (0,21), proporcionou maior tolerância da *C. benghalensis* ao saflufenacil quando desenvolvida no ambiente com 0% de sombra (Tabela 2; Figura 1). Por outro lado, a elevação do nível de sombreamento resulta em aumento da superfície foliar, redução das ceras epicuticulares e menor acúmulo de reservas (Dias-Filho, 1999; 2000; Godim et al., 2008), tornando as plantas mais susceptíveis (Santos Júnior et al., 2013; Santos et al., 2015).

O crescimento das plantas de *C. benghalensis* foi influenciado pelo ambiente no qual, estas se desenvolveram, resultando em maior acúmulo de massa de matéria seca em folhas, caule, sistema radicular e total em plantas sem restrição de luminosidade, quando comparada aos demais níveis de sombreamento de 40 e 55% (Figura 2). Na Figura 2D, observa-se que em tratamentos sem aplicação de herbicida, a matéria seca total da *C. benghalensis* desenvolvida à 0% de sombra foi 35,3 e 38,5% superior àquelas à 40 e 55% de sombra, respectivamente, o que reflete na maior eficiência na

utilização dos recursos disponíveis no meio. Respostas semelhantes foram obtidas por Santos Júnior et al. (2013), onde, plantas de *C. benghalensis* e *Cyperus rotundus* quando desenvolvidas em ambientes sombreados (30 e 50% de sombra), obtiveram menor acúmulo de matéria seca na parte aérea, quando comparada às desenvolvidas em pleno sol. Segundo Gobbi et al. (2009), plantas de *Urochloa decumbens* cultivadas em ambientes com restrição na luminosidade reduziram em 15% o acúmulo de matéria seca quando comparada à testemunha a pleno sol, corroborando com o presente trabalho.

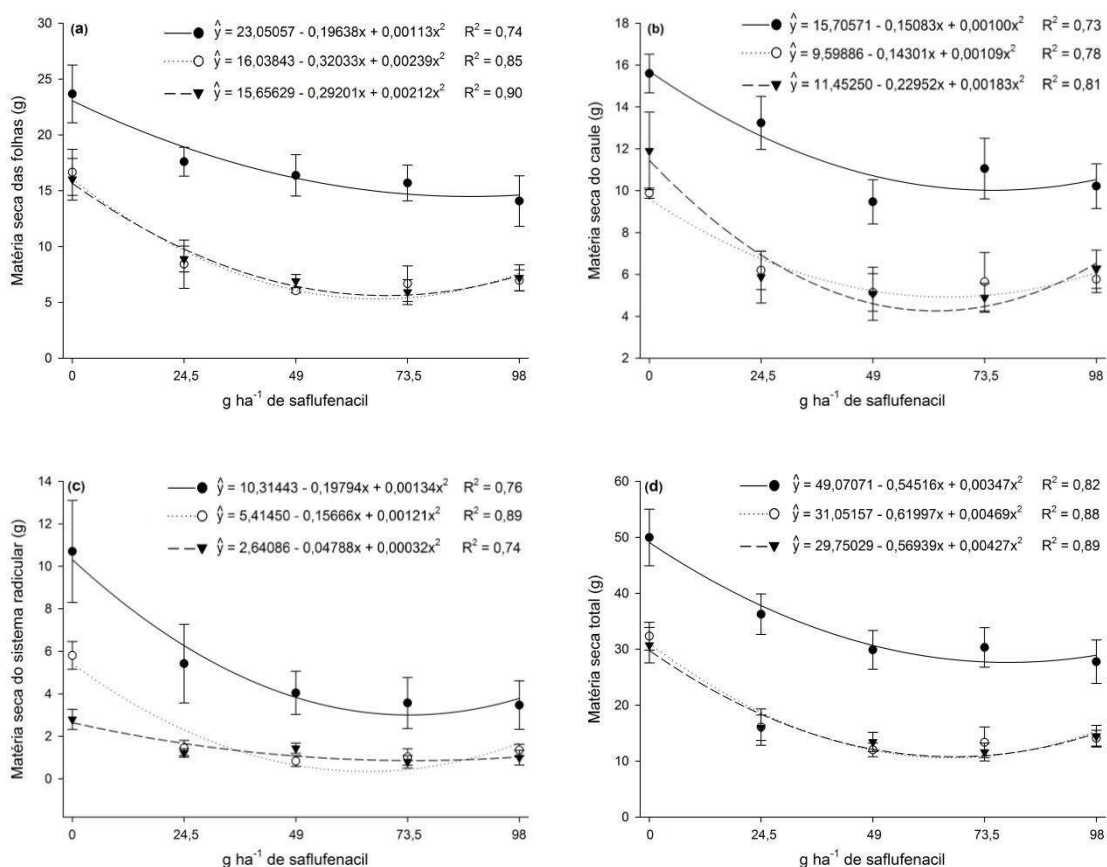


Figura 2 - Matéria seca das folhas (a), caule (b), sistema radicular (c) e total (d) da trapoeraba desenvolvida sob 0 % de sombra (—●), 40 % de sombra (.....○) e 55 % de sombra (---▼), submetida à aplicação de doses crescentes do saflufenacil, aos 28 dias após a aplicação.

A recuperação da *C. benghalensis* foi observada em todas as plantas submetidas à dose de 24,50 g ha⁻¹ de saflufenacil, alcançando 6,7, 4,0 e 2,5% de rebrota aos 28 DAA, nos ambientes com 0, 40 e 55% de sombra (Tabela 3). Todavia, nas demais doses apenas as plantas desenvolvidas a 0% de sombra apresentaram rebrota, fato este relacionado ao maior acúmulo de reservas em caule e raiz (Tabela 2).

Tabela 3 – Porcentagem de rebrota de *Commelina benghalensis* desenvolvida em diferentes níveis de sombreamento os 28 dias após a aplicação do saflufenacil (DAA).

g ha ⁻¹ de saflufenacil	0% de sombra	40% de sombra	55% de sombra
24,50	6,75 ± 2,87ab	4,00 ± 1,15	2,50 ± 3,11
49,00	8,50 ± 1,73a	0,00	0,00
73,50	6,00 ± 2,00ab	0,00	0,00
98,00	4,00 ± 1,15b	0,00	0,00

Medias e ± desvio padrão. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Plantas desenvolvidas a 0% de sombra tendem particionar menor biomassa para a formação de folhas uma vez que não se tem restrições de luz, sendo, portanto, necessário um sistema radicular mais robusto para a captação de água e nutrientes (Tabela 2), conforme observado por Dias-Filho (1999; 2000). Ainda, estas plantas alocam grande parte dos seus fotoassimilados para o sistema de proteção contra a perda de água para o ambiente com aumento no espessamento da cutícula e maior deposição de ceras, bem como menor área foliar das plantas e tamanho da lâmina foliar (Godim et al., 2008). Características estas que também proporcionam efeitos aditivos na tolerância ao saflufenacil, ocasionando redução no controle e conseqüente aumento no índice de rebrotas em ambientes sem restrição na luminosidade (Figura 1; Tabela 3).

Martins et al. (2012), em trabalho com o manejo de *C. benghalensis* observaram rápido controle inicial aos 7 DAA com 48 g ha⁻¹ de saflufenacil alcançando 46,7% de intoxicação, contudo, aos 45 DAA observou-se controle ineficiente com rebrota completa. Resultados semelhantes foram obtidos por Osipe et al. (2010), em trabalho com *Conyza canadensis* sendo observado rebrota aos 28 dias após a aplicação do saflufenacil, conforme observado no presente trabalho (Tabela 3).

Plantas de *C. benghalensis* desenvolvidas em ambientes sombreados apresentaram maior incremento dos teores de *Cl a* e *Cl b* e conseqüentemente no teor de clorofila total *Cl a+b*, de modo a elevar a captação de luz (Tabela 4). Por outro lado, em condições de sombra observou-se baixa razão entre a *Cl a* e *Cl b* que é um indicador entre a proporção de complexos coletores de luz associados ao fotossistema II (FSII) e outros complexos contendo clorofila. As folhas de plantas mantidas a 0% de sombra apresentaram uma concentração menor de carotenóides (0,63 mg g⁻¹ MF) e da razão clorofila e carotenóides totais *Cl/Car* (1,35) quando comparado a *C. benghalensis* em condições de sombreamento (Tabela 4).

Tabela 4 – Concentração de clorofilas (*Cl*) totais (*a + b*) (mg g⁻¹ MF), carotenóides totais (*Car*) (mg g⁻¹ MF), razão clorofila *a* e clorofila *b* (*Cl a/b*), razão clorofilas totais e carotenóides (*Cl/Car*) de *Commelina benghalensis* desenvolvida em diferentes níveis de sombreamento.

Variáveis	0% de sombra	40% de sombra	55% de sombra
<i>Cl a + b</i>	0,86 ± 0,15b	1,14 ± 0,04a	1,12 ± 0,09a
<i>Cl a</i>	0,59 ± 0,11b	0,79 ± 0,03a	0,77 ± 0,06a
<i>Cl b</i>	0,27 ± 0,05b	0,35 ± 0,02a	0,35 ± 0,02a
<i>Cl a/b</i>	2,27 ± 0,02a	2,26 ± 0,03ab	2,22 ± 0,01b
<i>Car</i>	0,63 ± 0,07b	0,75 ± 0,02a	0,76 ± 0,05a
<i>Cl/Car</i>	1,35 ± 0,09b	1,51 ± 0,06a	1,48 ± 0,03a

Medias e ± desvio padrão. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Plantas desenvolvidas em ambientes saturados por radiação solar tendem a investir menos em pigmentos coletores de energia luminosa clorofila *a* e *b* quando comparado a ambientes sombreados, uma vez que, este recurso não se encontra restrito a pleno sol e a alta concentração de centros coletores de energia pode contribuir com a elevação de ERO's sobrecarregando o sistema de fotoproteção da planta (Dias, 2006).

A *Commelina benghalensis* quando desenvolvida em ambientes sombreados investiram mais na eficiência do seu aparato fotossintético, bem como, no crescimento da parte aérea, enquanto que plantas crescidas sem restrição de luminosidade alocaram mais fotoassimilados em órgãos de reservas como caule e raízes, possibilitando a rebrota após a aplicação do saflufenacil. Desta maneira pode-se afirmar que *Commelina benghalensis* quando desenvolvida ambientes sombreados são mais susceptíveis ao saflufenacil.

2.6. LITERATURA CITADA

Asociación latinoamericana de malezas – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1974; 1: 35-8.

Costa A.G.F., Alves P.L.C.A., Pavani M.C.M.D. Períodos de interferência de trapoeraba (*Commelina benghalensis* Hort.) no crescimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden). **Revista Árvore**. 2004; 28: 471-8.

Dias P.C. **Variação espacial da fotossíntese e de mecanismos de fotoproteção no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. [tese] Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

Dias-Filho M.B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2000; 35: 2335-41.

Dias-Filho M.B. Physiological responses of two tropical weeds to shade. I. Growth and biomass allocation. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 1999; 34: 945-52.

Faustino L.A. **Convivência de eucalipto com *Commelina benghalensis***. [Dissertação] Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015.

Gobbi K.F. et al. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 2009; 38: 2845-54.

Gondim A.R.O. et al. Plasticidade anatômica da folha de taro cultivado sob diferentes condições de sombreamento. **Bragantia**. 2008; 67: 1037-45.

Grossmann K. et al. The Herbicide Saflufenacil (Kixor™) is a New Inhibitor of Protoporphyrinogen IX Oxidase Activity. **Weed Science**. 2010; 58: 1-9.

Hunt R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman. 1990.

Lichthenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**. 1987; 148: 350-82.

Lorenzi H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. São Paulo: Nova Odessa, 2008.

Martins D. et al. Manejo químico de espécies de trapoeraba com aplicação isolada e em mistura de diferentes herbicidas. **Revista Caatinga**. 2012; 25: 21-8.

Monquero P.A., Cury J.C., Christoffoleti P.J. Controle pelo glyphosate e caracterização geral da Superfície foliar de *Commelina benghalensis*, *Ipomoea hederifolia*, *Richardia brasiliensis* e *Galinsoga parviflora*. **Planta Daninha**. 2005; 23: 123-32.

Oliveira Júnior R.S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: Oliveira Júnior R.S., Constantin J., Inoue M.H., editores. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p.141-92.

Osipe J.B. et al. **Avaliação do controle químico de buva com o herbicida kixor associado a outros produtos**. XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas - Centro de Convenções - Ribeirão Preto – SP, p. 1.864-67.

Santos Júnior A. et al. Manejo de tiririca e trapoeraba com glyphosate em ambientes sombreados. **Planta daninha**. 2013; 31: 213-21.

Santos S.A. et al. Influence of shading on the leaf morphoanatomy and tolerance to glyphosate in *Commelina benghalensis* L. and *Cyperus rotundus* L. **Australian Journal of Crop Science**. 2015; 9: 135-42.

Taiz L., Zeiger E. **Plant physiology**. 5.ed. Massachusetts: Sinauer, 2010. 782 p.

3. USO DO FERTIACTYL PÓS® NA PROTEÇÃO DE PLANTAS DE EUCALIPTO SUBMETIDO À DERIVA DE HERBICIDAS

3.1. RESUMO

A deriva de herbicida, por falhas de aplicação, pode causar intoxicação em plantas de eucalipto, comprometendo o crescimento destas. Entretanto, a adição de produtos protetores como Fertiactyl Pós® à calda tem se mostrado eficiente na redução da intoxicação de plantas de eucalipto expostas à deriva de herbicidas. Em face ao exposto, objetivou-se neste trabalho, avaliar o efeito protetor do Fertiactyl Pós® sobre a redução de danos causados pela deriva dos herbicidas glyphosate, 2,4-D e a mistura glyphosate + 2,4-D em plantas de eucalipto. O experimento foi conduzido em esquema fatorial $3 \times 2 + 1$, correspondendo a três herbicidas: glyphosate (1.440 g ha^{-1}), 2,4-D (680 g ha^{-1}), mistura em tanque do glyphosate + 2,4-D ($1.440 \text{ g de ha}^{-1} + 680 \text{ g ha}^{-1}$); duas doses de Fertiactyl Pós® (0 e $3,0 \text{ L ha}^{-1}$) e uma testemunha sem aplicação. Antes da aplicação, a parte superior da copa do eucalipto foi protegida com sacos de polietileno, de modo a permitir que a calda atingisse apenas o terço inferior do dossel. A adição do Fertiactyl Pós® à calda com os herbicidas glyphosate e 2,4-D reduziu a intoxicação das plantas de eucalipto de 21,9 e 15,2%, respectivamente, aos 40 dias após a aplicação (DAA) em relação à aplicação dos respectivos herbicidas sem adição de Fertiactyl Pós®. A deriva da mistura glyphosate + 2,4-D potencializou a intoxicação das plantas do eucalipto em relação à aplicação isolada dos respectivos herbicidas e não houve resposta da adição do Fertiactyl Pós® na redução da intoxicação das plantas quando se aplicou os herbicidas em mistura.

Palavras-chave: glyphosate, 2,4-D, desintoxicação de plantas, mistura de herbicidas.

3.2. ABSTRACT

Herbicide drift, due to application failures, can cause intoxication in eucalyptus plants, compromising your growth. However, the addition of protective products such as Fertiactyl Pós® to the syrup has been shown to be efficient in reducing intoxication of eucalyptus plants exposed to herbicide drift. In view of the above, the objective of this study was to evaluate the protective effect of Fertiactyl Pós® on the reduction of damage caused by the herbicides glyphosate, 2,4-D and the glyphosate + 2,4-D mixture in

eucalyptus plants. The experiment was conducted in a 3x2 + 1 factorial scheme, corresponding to three herbicides: glyphosate (1,440 g ha⁻¹), 2,4-D (680 g ha⁻¹), glyphosate + 2,4-D (1,440 g ha⁻¹ + 680 g ha⁻¹); two doses of Fertiactyl Pós[®] (0 and 3.0 L ha⁻¹) and one control without application. Before to application, the top of the eucalyptus was protected with polyethylene bags so as to allow the syrup to reach only the lower third of the canopy. The addition of Fertiactyl Pós[®] to the syrup with glyphosate and 2,4-D herbicides reduced the intoxication of eucalyptus plants of 21.9 and 15.2%, respectively, at 40 days after application (DAA) in relation to the application of the respective herbicides without the addition of Fertiactyl Pós[®]. The glyphosate + 2,4-D mixture drift potentiated the intoxication of the eucalyptus plants in relation to the isolated application of the respective herbicides and is not there was improved from the addition of Fertiactyl Pós[®] in the reduction of plants intoxication when applying the herbicides in mixture.

Key-words: glyphosate, 2,4-D, plant detoxification, herbicide mixture.

3.3. INTRODUÇÃO

O manejo de plantas daninhas em plantios de eucalipto é uma prática importante para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura. Dentre os métodos de controle de plantas daninhas no setor florestal, o manejo com o glyphosate é o mais utilizado, devido às extensas áreas cultivadas, ao seu baixo risco de contaminação ambiental e amplo controle sobre diversas espécies invasoras (Malik et al., 1989). Todavia, a deriva do herbicida, por falhas na aplicação, pode resultar em intoxicação das plantas (Tuffi Santos et al., 2006; Carvalho et al., 2014; Santos Junior et al., 2015), principalmente quando a deriva ocorre nos primeiros dois anos após o transplante das mudas, período este de maior susceptibilidade da cultura ao herbicida glyphosate (Santos Junior et al., 2015).

A elevada adoção do manejo químico com uso repetitivo do glyphosate no setor florestal, tem levado à seleção de plantas tolerantes a este herbicida em plantios de eucalipto (Tuffi Santos et al., 2013), requerendo o emprego de ferramentas que possibilite a redução na pressão de seleção.

Diante deste cenário, a mistura do 2,4-D com o glyphosate tem potencial de elevar o espectro de ação no controle de plantas daninhas, reduzindo a pressão de seleção de espécies eudicotiledôneas anuais tolerantes ao glyphosate. Por outro lado, a

mistura em tanque desses herbicidas resulta, também, em aumento potencial da intoxicação das plantas pela deriva, quando comparado à aplicação dos herbicidas de forma isolada (Gandolfo et al., 2012).

Os danos causados pela deriva de herbicidas, em especial à causada pelo glyphosate, em aplicações nas culturas de eucalipto e soja, tem-se mostrado menos severos quando em mistura com o Fertiactyl Pós[®] (Machado et al. 2017; Santos et al., 2015; Constantin et al., 2016). O Fertiactyl Pós[®] contém ácidos húmicos e fúlvicos, bem como o complexo GZA (glicina-betaína e zeatina), que proporcionam redução nos danos causados pela deriva de herbicidas (Santos et al., 2015). Os ácidos húmicos e fúlvicos proporcionam a adsorção das moléculas de herbicidas em suas superestruturas (Piccolo & Celano, 1994; Piccolo et al., 1996; Campos & Viera, 2002; Mazzaei et al., 2012). A presença do complexo GZA proporciona a manutenção e recuperação dos danos causados por espécies reativas de oxigênio (Giri, 2011), podendo também, elevar a estabilidade das membranas celulares e a tolerância ao estresse abiótico (Taiz & Zeiger, 2010).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do Fertiactyl Pós[®] em mistura com os herbicidas glyphosate, 2,4-D e glyphosate + 2,4-D sobre a redução de danos causados pela deriva destes herbicidas em plantas de eucalipto.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de julho de 2015 e janeiro de 2016, no município de Viçosa – MG (42°52'54'' W, 20°45'10'' S).

Mudas padronizadas do híbrido *Eucalyptus grandis* Hill ex Maden x *Eucalyptus urophylla* Blade, clone (CNB-10), com aproximadamente 0,30 m de altura e três meses de idade, foram transplantadas em vasos com 10 dm⁻³ de solo, cujas características químicas e físicas estão apresentadas na Tabela 1. O solo teve a acidez previamente corrigida com 0,3 g dm⁻³ de calcário e adubado com 1,68 g dm⁻³ de superfosfato triplo, 0,22 g dm⁻³ de cloreto de potássio e 0,33 g dm⁻³ de sulfato de amônio. Após o transplante, os vasos foram irrigados diariamente, mantendo o solo próximo da capacidade de campo.

Tabela 1 - Análise química e granulométrica do solo.

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----								---%---	dag kg ⁻¹	
4,4	1,1	23	0,1	0,1	1,7	7,43	0,26	1,96	7,69	3,0	87,0	2,75
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural				Tipo de Solo		
-----%-----												
57		21		22		Argila				Argiloso		

pH em água; P e K⁺ – Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ – Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica.

O arranjo experimental utilizado foi em esquema fatorial 3 x 2 + 1, correspondendo a três herbicidas: glyphosate (1.440 g ha⁻¹), 2,4-D (680 g ha⁻¹), mistura em tanque do glyphosate + 2,4-D (1.440 g de ha⁻¹ + 680 g ha⁻¹); duas doses de Fertiactyl Pós[®]: 0 e 3,0 L ha⁻¹; e uma testemunha sem aplicação. O experimento foi conduzido seguindo o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, sendo considerado como parcela experimental um vaso contendo substrato (Tabela 1) e uma planta de eucalipto.

Os tratamentos foram aplicados aos 150 dias após do transplante das mudas de eucalipto onde estas se encontravam com 110 cm de altura. A aplicação foi realizada com pulverizador costal de precisão, com pressão constante (300 kPa) mantida por CO₂ pressurizado, equipado com duas pontas TT110.02 espaçadas entre si de 0,50 m, com volume de calda de 150 L ha⁻¹. No momento da aplicação, a copa do eucalipto foi protegida nos 2/3 superiores com sacos de polietileno, permitindo que a calda atingisse apenas o terço inferior.

As avaliações de intoxicação das plantas de eucalipto foram realizadas aos 10, 20, 30 e 40 dias após a aplicação (DAA), usando uma escala que varia entre 0 e 100%, onde 0% significa a ausência de sintomas visíveis de intoxicação, e 100% morte das plantas de eucalipto (ALAM, 1974).

Aos 0, 10, 20, 30 e 40 DAA, as plantas de eucalipto foram mensuradas em relação à altura ao nível do solo e ao diâmetro do caule a 3,0 cm acima do nível do solo. Aos 40 DAA, a parte aérea foi seccionada e separada em caule e folhas. A área foliar de cada planta foi mensurada pelo medidor Li-Cor 3000 (Li-Cor Instruments, modelo LI-3000A). As partes da planta foram armazenadas em sacos de papel e mantidas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C até atingirem massa constante sendo, posteriormente, pesadas.

Mediante os valores da massa da matéria seca das folhas e do caule de eucalipto, foram obtidas a massa da matéria seca total da parte aérea e a área foliar específica (AFE) que é área foliar da planta em relação à massa da matéria seca das folhas (Hunt, 1990).

Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Em caso de significância, os dados referentes à porcentagem de intoxicação, diâmetro e altura de plantas foram ajustados em equações de regressão, sendo as médias dos tratamentos comparadas entre si por meio do desvio padrão da média. Para a escolha do modelo, levou-se em consideração a explicação biológica, à significância dos parâmetros, bem como os coeficientes da regressão.

As médias dos tratamentos com herbicidas obtidas para as variáveis massa da matéria seca das folhas, do caule e total, bem como a área foliar e área foliar específica, foram comparadas pelo teste de Dunnett, ao nível ao 5% de probabilidade, com a testemunha sem aplicação. Ainda, a presença ou ausência do Fertiactyl Pós[®] para cada herbicida foi comparada pelo teste T, ao nível de 5% de probabilidade.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mudas de eucalipto apresentaram sintomas de intoxicação causados pela deriva do glyphosate e 2,4-D, tanto isolado quanto em mistura, independente da adição ou não do Fertiactyl Pós[®], nos diferentes intervalos de tempo avaliados (Figuras 1a, b e c). Aos 40 dias após a aplicação (DAA) a intoxicação foi 21,9 e 15,2% menor quando glyphosate e 2,4-D, respectivamente, foram aplicados em mistura com Fertiactyl Pós[®] (Figuras 1a e b). A aplicação de glyphosate + 2,4-D resultou em um aumento na intoxicação do eucalipto em relação à aplicação isolada dos herbicidas, independente da adição do Fertiactyl Pós[®] (Figura 1c).

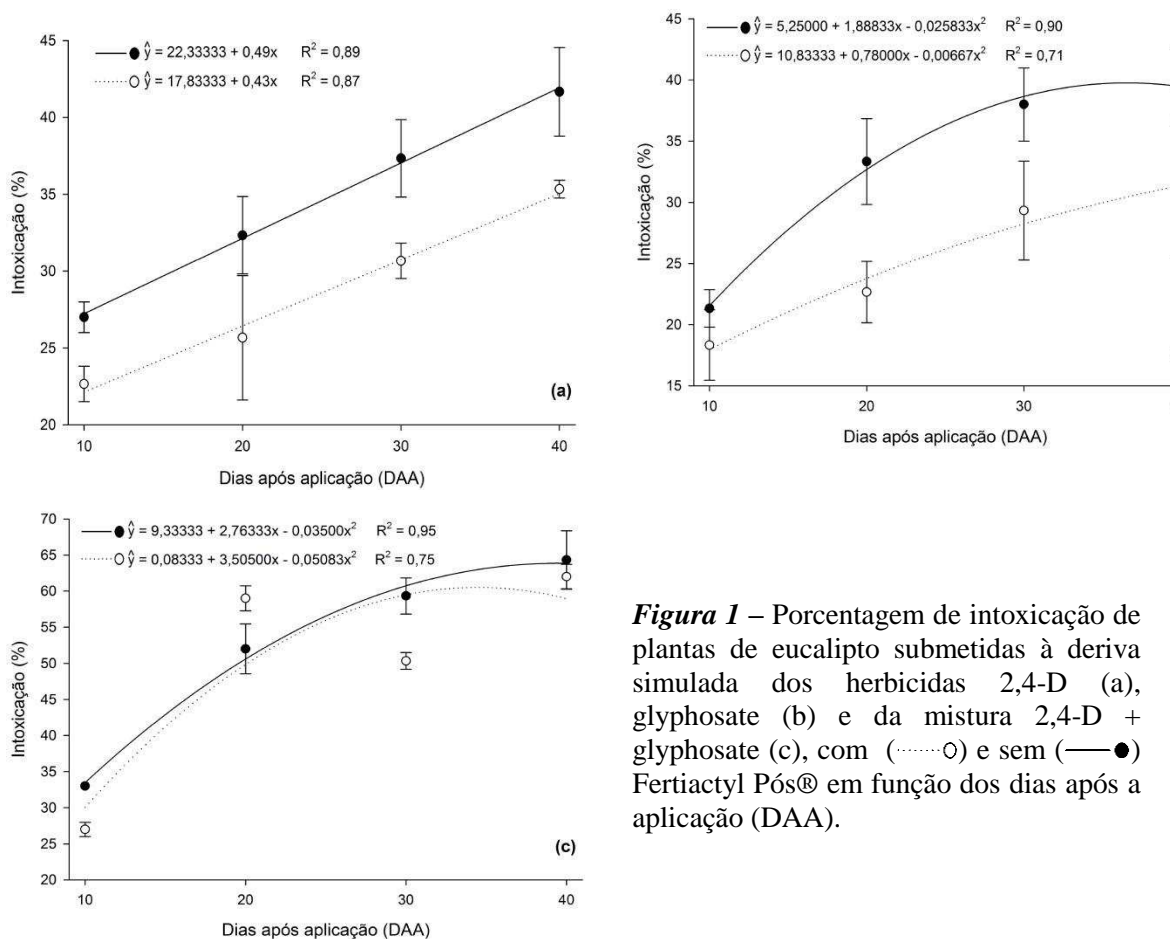


Figura 1 – Porcentagem de intoxicação de plantas de eucalipto submetidas à deriva simulada dos herbicidas 2,4-D (a), glyphosate (b) e da mistura 2,4-D + glyphosate (c), com (.....○) e sem (—●) Fertiactyl Pós® em função dos dias após a aplicação (DAA).

Provavelmente, a menor intoxicação associada à resposta mais lenta do eucalipto aos herbicidas aplicados de forma isolada quando comparada com a mistura destes em tanque, proporcionou maior período para que o Fertiactyl Pós® possa exercer a sua função como protetor em relação à aplicação da mistura (Figura 1a, b e c). Em simulação de deriva dos herbicidas glyphosate e triclopyr, em plantas de eucalipto com 0,50 m de altura, Tuffi Santos et al. (2006) observaram menores índices de intoxicação aos 15 DAA para a aplicação isolada dos herbicidas glyphosate (10,75%) e triclopyr (30%) em relação à aplicação da mistura dos respectivos herbicidas (42,5%).

A interação do glyphosate e do 2,4-D com as macromoléculas dos ácidos húmicos e fúlvicos, por meio de ligação de hidrogênio, mantém estes herbicidas adsorvidos nestas superestruturas (Piccolo & Celano, 1994; Piccolo et al., 1996; Campos & Viera, 2002; Mazzaei et al., 2012), o que pode reduzir o efeito tóxico e explicar a redução na intoxicação observada quando se adicionou Fertiactyl Pós® à calda (Figuras 1a e b). Outra vertente está relacionada ao potencial protetor destas superestruturas na mitigação dos danos causados pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO's) devido ao estresse abiótico (Garcia et al., 2012).

A presença de glicina-betaína e zeatina na composição química do Fertiactyl Pós[®], pode contribuir com a recuperação dos danos causados pelos herbicidas, devido à proteção do aparato fotossintético, inibição da senescência de folhas, indução de genes envolvidos na tolerância a estresse, redução dos níveis de ERO's e proteção da membrana celular (Ashraf & Foolad, 2007; Chen & Murata, 2008; Wang et al., 2008; Giri, 2011).

Em trabalhos com doses crescentes de glyphosate e Fertiactyl Pós[®] em plantas de eucalipto com aproximadamente 0,60 m, Machado et al. (2017) constataram sintomas de intoxicação a partir de 1.440 g ha⁻¹ de glyphosate, quando em mistura com 1,0 L ha⁻¹ de Fertiactyl Pós[®]. Contudo, em doses superiores a 1,0 L ha⁻¹ deste protetor não foi observado, visualmente, intoxicação relacionada ao glyphosate na mesma dose, diferindo dos resultados obtidos no presente estudo, que pode estar relacionado à maior área exposta à deriva aos 150 dias após o plantio das mudas de eucalipto. Na cultura da soja resistente ao glyphosate foi constatada redução na intoxicação e ganhos em produtividade de grãos em plantas submetidas à aplicação de doses crescentes de Fertiactyl Pós[®] em mistura com glyphosate + lactofen (Santos et al., 2015).

A aplicação de glyphosate, 2,4-D e glyphosate + 2,4-D proporcionaram menor incremento em altura das plantas quando comparada a testemunha sem aplicação, independente da adição do Fertiactyl Pós[®] (Figuras 2a, b e c). No entanto, a aplicação dos respectivos herbicidas não resultou em alteração no diâmetro do caule das plantas de eucalipto ao longo do período amostrado (Figuras 3a, b e c).

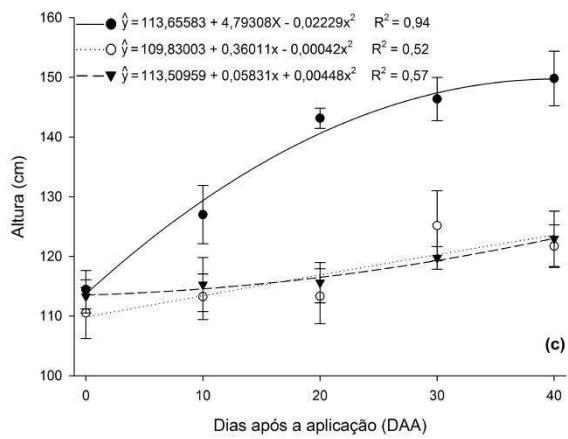
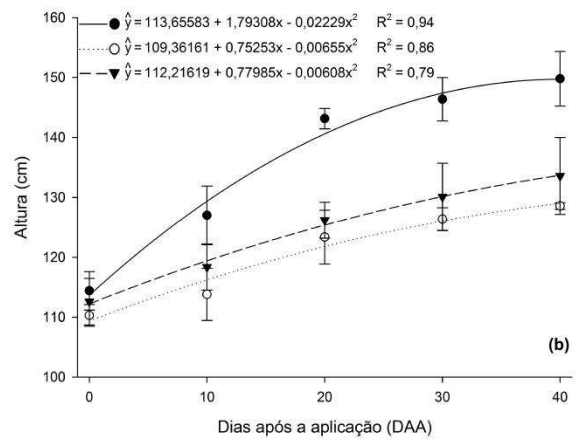
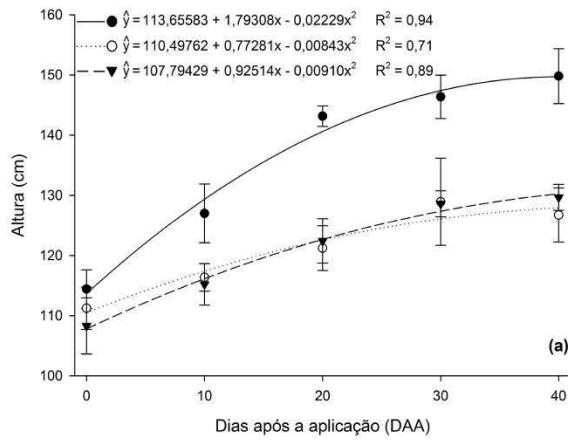


Figura 2 – Altura de plantas de eucalipto submetidas à deriva simulada dos herbicidas 2,4-D (a), glyphosate (b) e da mistura 2,4-D + glyphosate (c), com (---▼) e sem Fertiactyl Pós® (.....○) e a testemunha (—●), em função dos dias após a aplicação (DAA).

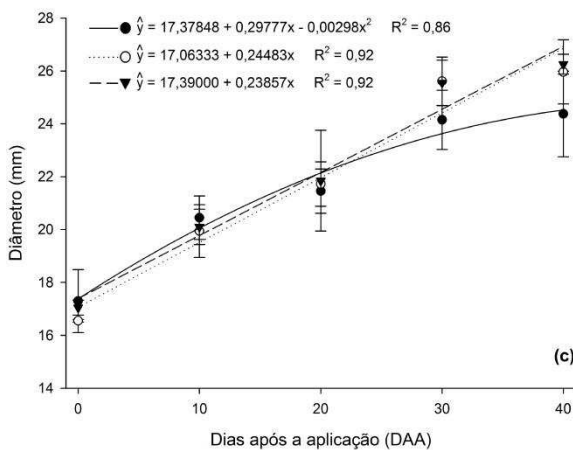
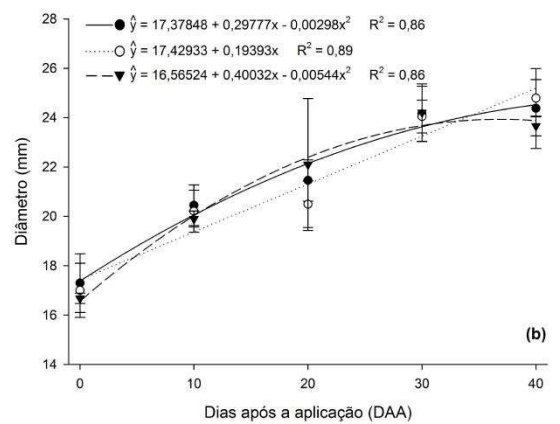
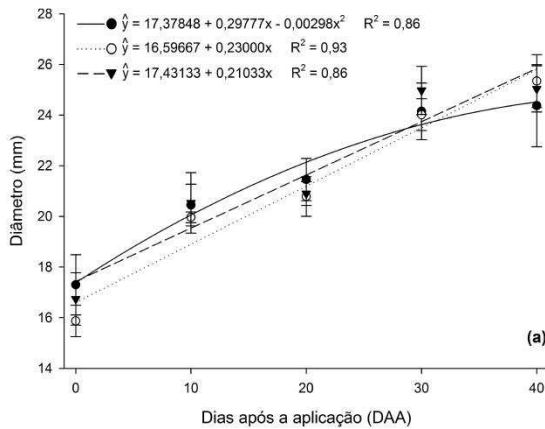


Figura 3 – Diâmetro de plantas de eucalipto submetidas à deriva simulada dos herbicidas 2,4-D (a), glyphosate (b) e da mistura 2,4-D + glyphosate (c), com (---▼) e sem Fertiactyl Pós® (.....○), e a testemunha (—●), em função dos dias após a aplicação (DAA).

A menor taxa de crescimento e morte dos meristemas apicais foram sintomas observados, relacionados ao mecanismo de ação dos herbicidas glyphosate e 2,4-D, o que impacta diretamente no incremento em altura das plantas (Oliveira Jr., 2011). Plantas nos estádios iniciais de desenvolvimento tendem a alocar grande parte dos fotoassimilados para o crescimento primário, ou seja, em altura, no intuito de vencer a competição por luminosidade (Taiz & Zeiger 2010), o que pode ter influenciado na altura das plantas de eucalipto submetidas à deriva em comparação com a testemunha, fato não observado no desenvolvimento do diâmetro do caule.

Resultados semelhantes foram observados por Tuffi Santos et al. (2006) e Carvalho et al. (2014), que ao simularem à deriva de herbicidas auxínicos, em plantas de eucalipto, não observando influência destes no incremento em diâmetro. Tal fato pode estar relacionado ao investimento primário no crescimento em altura e ao curto período de tempo analisado de 45 e 50 DAA, respectivamente, sendo este período semelhante ao do presente trabalho 40 DAA.

O acúmulo de matéria seca das folhas, caule e da parte aérea total do eucalipto foram afetadas pelos herbicidas glyphosate, 2,4-D e pela mistura destes, na presença ou ausência do Fertiactyl Pós[®], quando comparado à testemunha (Tabela 2). Entretanto, dentro de cada tratamento onde não ocorreu a mistura em tanque dos herbicidas glyphosate e 2,4-D, pode-se observar que na presença do Fertiactyl Pós[®], as plantas de eucalipto acumularam maior biomassa (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa da matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC) e da parte aérea (MSPA) de plantas de eucalipto submetida à deriva simulada dos herbicidas glyphosate, 2,4-D e da mistura glyphosate + 2,4-D, com e sem adição de Fertiactyl Pós[®] e a testemunha sem aplicação aos 40 dias após a aplicação (DAA).

Tratamento	MSF	MSC	MSPA
	(g)		
2,4-D	133,9a*	124,8b*	258,7b*
2,4-D + Fertiactyl Pós [®]	139,8a*	137,0a*	276,8a*
Glyphosate	150,1b*	130,6b*	280,7b*
Glyphosate + Fertiactyl Pós [®]	154,7a*	141,5a*	296,2a*
Glyphosate + 2,4-D	132,8a*	129,5a*	262,3a*
Glyphosate + 2,4-D + Fertiactyl Pós [®]	124,6b*	127,1a*	251,7b*
Testemunha	167,7	140,1	307,7

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. Mesma letra dentro de cada coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T plantas com e sem Fertiactyl.

Em trabalho semelhante, a deriva de glyphosate e de triclopyr em plantas de eucalipto, reduziu em 43,0 e 22,6% o incremento da matéria seca da parte aérea,

respectivamente, enquanto a mistura desses herbicidas no tanque resultou em 59,6% de redução no acúmulo de matéria seca (Tuffi Santos et al., 2006). Também, Yamashita et al. (2009) observaram que a aplicação da mistura em tanque de 180 g ha⁻¹ de glyphosate + 335 g ha⁻¹ de 2,4-D, proporcionou redução em acúmulo de matéria seca da espécie arbórea *Ceiba pentandra* em 74,42%, quando comparada a testemunha, contudo, a aplicação isolada de 180 g ha⁻¹ de glyphosate e 335 g ha⁻¹ de 2,4-D reduziu apenas 16,13 e 25,81%, respectivamente.

O estresse causado pela aplicação dos herbicidas reduziu também o incremento da área foliar das plantas de eucalipto, refletindo na menor biomassa alocada para a formação da área fotossinteticamente ativa, culminando em menor área foliar específica (AFE) (Tabela 3). Os menores valores de AFE foram observados em plantas de eucalipto tratadas com glyphosate + 2,4-D independente da ausência ou presença de Fertiactyl Pós[®], reduzindo em 25,2 e 24,1%, respectivamente, quando comparado ao controle sem deriva (Tabela 3). A redução da AFE reflete na maior quantidade de tecidos não fotossintetizantes e, conseqüentemente, na menor taxa fotossintética por massa, o que reduz a alocação de fotoassimilados para os tecidos da planta, proporcionando menor desenvolvimento e acúmulo de biomassa nos órgãos do eucalipto (Tabela 2).

Tabela 3 – Área foliar e área foliar específica (AFE) de plantas eucalipto submetida à deriva simulada dos herbicidas glyphosate, 2,4-D e da mistura glyphosate + 2,4-D, com e sem adição de Fertiactyl Pós[®] e a testemunha sem aplicação aos 40 dias após a aplicação (DAA).

Tratamento	Área foliar	Área foliar específica
	(m ²)	(m ² kg ⁻¹)
2,4-D	1,33a*	9,95a
2,4-D + Fertiactyl Pós [®]	1,35a*	9,67a
Glyphosate	1,44b*	9,60a*
Glyphosate + Fertiactyl Pós [®]	1,47a*	9,47a*
Glyphosate + 2,4-D	1,03a*	7,74a*
Glyphosate + 2,4-D + Fertiactyl Pós [®]	0,98b*	7,85a*
Testemunha	1,7	10,3

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Dunnett. Mesma letra dentro de cada coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste T plantas com e sem Fertiactyl.

Os resultados obtidos neste trabalho, demonstram que a redução na área fotossintetizante das plantas de eucalipto também é influenciada pelos herbicidas avaliados. Plantas de eucalipto quando em contato com o glyphosate apresentaram reduções de até 60% em área foliar quando comparada a testemunha sem aplicação (Pereira et al., 2011; Costa et al., 2012). Por outro lado, a adição de doses crescentes de

Fertiactyl Pós[®] reduziu os efeitos nocivos da deriva de glyphosate sobre a área foliar de plantas de eucalipto (Machado et al., 2017).

Segundo Tuffi Santos et al. (2005), a deriva de glyphosate proporciona rápido aumento da espessura do limbo foliar, que pode estar relacionado a uma resposta das plantas a redução da área foliar perdida em decorrência dos danos celulares causado pelo herbicida, culminando em redução na AFE. Contudo, dentre os sintomas relacionados aos herbicidas auxínicos tem-se o afrouxamento das paredes celulares e o alongamento das células devido ao acúmulo de líquidos em função da redução do potencial osmótico (Silva et al., 2007), o que proporciona aumento da AFE, conforme observado no tratamento com 2,4-D puro e em mistura com Fertiactyl Pós[®].

Em face ao exposto, conclui-se que a adição do Fertiactyl Pós[®] à calda com glyphosate e 2,4-D aplicados isoladamente reduz a intoxicação de plantas de eucalipto expostas à deriva. No entanto, essa proteção não ocorre para a mistura glyphosate + 2,4-D.

3.6. LITERATURA CITADA

Asociación latinoamericana de malezas – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1974; 1: 35-8.

Ashraf M., Foolad M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**. 2007; 59: 206-16.

Campos S.X., Vieira E.M. Estudo da degradação do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) por meio da radiação gama do cobalto-60 em solução aquosa contendo ácido húmico. **Química Nova**. 2002; 25: 529-32.

Carvalho G.P. et al. Deriva simulada de triclopyr e fluroxypyr + triclopyr no Desenvolvimento de mudas de clones de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**. 2014; 38: 165-73.

Chen T. H., Murata N. Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. **Trends Plant Science**. 2008; 13: 499-505.

Constantin J. et al. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant. **African Journal of Agricultural Research**. 2016; 11: 1601-7.

Costa A.C.P.R. et al. Efeito da deriva simulada de glyphosate em diferentes partes da planta de *Eucalyptus grandis*. **Semina: Ciências Agrárias**. 2012; 33: 1663-72.

Gandolfo M.A. et al. Potencial de deriva da mistura de 2,4-D com glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**. 2012; 11: 332-8.

García A.C. et al. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. **African Journal of Biotechnology**. 2012; 11: 3125-34.

GIRI J. Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants. **Plant Signaling & Behavior**. 2011; 6: 1746-51.

HUNT R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman. 1990. 112p.

Machado S.M. et al. Use of liquid fertilizer to reduce the phytotoxic effects of glyphosate on eucalyptus. **Revista Caatinga**. 2017; 30: 730-7.

Malik J., Barry G., Kishore G. The herbicide glyphosate. **Biofactores**. 1986; 2: 17-25.

Mazzei P., Piccolo A. Quantitative Evaluation of Noncovalent Interactions between Glyphosate and Dissolved Humic Substances by NMR Spectroscopy. **Environmental Science & Technology**. 2012; 46: 5939-46.

Oliveira Júnior R.S. Seletividade para culturas e plantas daninhas. In: Oliveira Júnior R.S., Constantin J., Inoue M.H., editores. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p.141-92.

Pereira M.R.R. et al. Absorção de subdoses glyphosate aplicadas em diferentes locais de plantas de eucalipto. **Revista Árvore**. 2011; 35: 589-94.

Piccolo A., Celano, G. Hydrogen-bonding interactions between the herbicide glyphosate and water-soluble humic substances. **Environmental Toxicology and Chemistry**. 1994; 13: 1737-41.

Piccolo A., Celano G., Conte, P. Adsorption of glyphosate by humic substance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 1996; 44: 2441-46.

Santos Junior, A. et al. Glyphosate drift in eucalyptus plants. **Planta Daninha**. 2015; 33: 615-21.

Santos, A.C.M. et al. Substância húmica na redução da fitotoxicidade dos herbicidas Roundup Ready + Lactofen na cultura da soja. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**. 2015; 9: 35-41.

Silva A.A., Ferreira F.A., Ferreira L.R. Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação. In: Silva A.A., Silva J.F. editores. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p. 83-148.

Taiz L., Zeiger E. **Plant physiology**. 4.ed. Massachusetts: Sinauer, 2006. 764p.

Tuffi Santos L.D. et al. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**. 2013; 31: 491-9.

Tuffi Santos L.D. et al. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta Daninha**. 2006; 24: 521-6.

Tuffi Santos L.D. et al. Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. **Planta Daninha**. 2005; 23: 133-42.

Yamashita O.M. et al. Influência do glyphosate e 2,4-D sobre o desenvolvimento inicial de espécies florestais. **Scientia Forestalis**. 2009; 37: 359-66.

Wang C. et al. Influence of Water Stress on Endogenous Hormone Contents and Cell Damage of Maize Seedlings. **Journal of Integrative Plant Biology**. 2008; 50: 427–34.

4. AÇÃO RESIDUAL DO AMINOPIRALIDE + 2,4-D EM ARGISSOLO SOB EFEITO DA CALAGEM

4.1. RESUMO

Os herbicidas auxínicos são amplamente empregados para o manejo de plantas daninhas em pastagens e no controle de espécies perenizadas e tolerantes ao glyphosate. No entanto, atributos do solo como o pH podem influenciar na persistência desses herbicidas, de modo a afetar o estabelecimento de culturas sucessoras como o eucalipto. Neste trabalho, foi avaliado o efeito da calagem sobre a ação residual da mistura de aminopiralde + 2,4-D para o eucalipto. O experimento foi conduzido em esquema fatorial $6 \times 2 + 2$, com seis intervalos entre a aplicação dos herbicidas e o transplante das mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias), duas condições de solo: sem calagem (pH = 4,4) e com calagem (pH = 5,5), mais duas testemunhas sem aplicação de herbicida, uma para cada nível de pH. Foram avaliadas a intoxicação das plantas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplante das mudas (DAT) e aos DAT, avaliou-se o incremento de diâmetro de caule e altura de plantas, área foliar e o acúmulo de matéria seca de folhas, caule, raiz e total. A calagem favorece a maior disponibilidade dos herbicidas na solução do solo, que fica evidenciada pela maior intoxicação de plantas de eucalipto transplantadas até 60 dias após a aplicação, e reduz o período de ação residual da mistura aminopiralde + 2,4-D, de modo que no solo com calagem (pH 5,5) e sem calagem (pH 4,4) não houve prejuízo no crescimento de plantas transplantadas aos 90 e 150 dias após a aplicação, respectivamente.

Palavras-chave: herbicidas, sorção, persistência, pH, *Eucalyptus grandis*.

4.2. ABSTRACT

The auxinic herbicides are widely used for the management of weeds in pastures and in the control of perennial and tolerant glyphosate species. However, soil attributes such as pH can influence the persistence of these herbicides, in order to affect the establishment of successor crops such as eucalyptus. In this work, the effect of liming on the residual action of the aminopyralide + 2,4-D mixture on eucalyptus was evaluated. The experiment was conducted in a $6 \times 2 + 2$ factorial scheme, with six intervals between herbicide application and transplanting of *Eucalyptus grandis* (0, 30, 60, 90, 120 and

150 days). soil: without liming (pH = 4.4) and liming (pH = 5.5), plus two controls without herbicide application, one for each pH level. Intoxication of plants at 30, 60, 90, 120 and 150 days after transplanting of the seedlings (DAT) and DAT was evaluated, increasing stem diameter and height of plants, leaf area and leaf dry matter accumulation, stem, root and total. The liming favors the greater availability of herbicides in the soil solution, which is evidenced by the greater intoxication of transplanted eucalyptus plants up to 60 days after application, and reduces the residual action period of the aminopyralid + 2.4-D mixture, so that in the soil with liming (pH 5.5) and without liming (pH 4.4), there was no damage to the growth of transplanted plants at 90 and 150 days after application, respectively.

Key-words: herbicides, sorption, persistence, pH, *Eucalyptus grandis*.

4.3. INTRODUÇÃO

Populações de plantas daninhas dicotiledôneas, tolerantes ao glyphosate, tem aumentado significativamente em cultivos homogêneos de eucalipto (Tuffi Santos et al., 2013). Isto deve-se, principalmente, a aplicação recorrente de mesmo herbicida, o que exerce elevada pressão de seleção destas plantas daninhas (Vencil et al., 2012). Entre as espécies tolerantes ao glyphosate, destacam-se as arbustivas e os cipós, frequentemente encontrados em áreas de reflorestamento (Tuffi Santos et al., 2013) e também em áreas de pastagens que comumente antecedem o cultivo do eucalipto.

Os herbicidas auxínicos é a principal alternativa para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas tolerantes ao glyphosate (Robinson et al., 2012; Walker et al., 2012), especialmente, as espécies arbóreas e arbustivas perenizadas. No entanto, alguns herbicidas como picloram e aminopiralde possuem elevado período residual, inviabilizando o plantio de espécies sensíveis em rotação de cultura (Santos et al., 2007; D'Antonino et al., 2009; Fast et al., 2010).

Dentre as principais características do aminopiralde tem-se o $pK_a = 2,56$, solubilidade em água de $2,48 \text{ mg L}^{-1}$, moderada sorção ($K_d = 0,72$) (Senseman, 2007) e meia-vida de 34,5 dias (Fast et al., 2010). A disponibilidade do aminopiralde na solução do solo é influenciada pela matéria orgânica, textura (Bukun et al., 2010) e também, pelo pH do solo, haja vista, que por se tratar de um herbicida que se comporta como ácido fraco ($pK_a = 2,56$), tende a ficar na forma aniônica à medida em que se eleva o pH do solo, ficando portanto, menos sorvido e mais disponível na solução do

solo (Senseman, 2007). Para herbicidas com persistência elevada, a diminuição da capacidade sortiva, com o acréscimo do pH do solo por meio de calagem, pode também, potencializar lixiviação do composto no perfil do solo (Silva et al., 2007), além de possibilitar maior efeito do herbicida em culturas posteriormente instaladas, inviabilizando o plantio em sucessão de espécies sensíveis (Fast et al., 2010; Mikkelsen & Lym, 2011).

O objetivo foi avaliar o efeito da calagem no solo sobre a ação residual da mistura aminopiralde + 2,4-D em mudas de eucalipto.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo considerado como unidade experimental um vaso com fundo vedado, contendo 10 dm³ solo. Os tratamentos consistiram de seis períodos de incubação do solo com herbicida (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após da aplicação dos herbicidas - DAAH), dois níveis de pH do solo (4,4 – sem calagem e 5,5 – com calagem), mais duas testemunhas sem aplicação de herbicida, sendo uma para cada nível de pH. Após a aplicação os vasos foram irrigados frequentemente de modo a manter o solo próximo da capacidade de campo.

A correção do pH do solo, cujas características químicas e físicas estão apresentadas na Tabela 1, foi realizada incorporando 15,9 g de calcário por 10 dm³ de solo aos 160 dias antes do transplante das mudas, ou seja, dez dias antes da aplicação dos herbicidas no maior intervalo entre a aplicação e o transplante.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----							---%---	dag kg ⁻¹	
4,4	1,1	23	0,1	0,1	1,7	7,43	0,26	1,96	7,69	3,0	87,0	2,75
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural				Tipo de Solo		
-----%-----												
57		21		22		Argila				Argiloso		

pH em água; P e K⁺ – Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ – Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica.

A adubação dos solos foi realizada o dia do transplante das mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) com aproximadamente 0,30 m de altura e três

meses de idade, incorporando-se 1,68, 0,22 e 0,33 g dm⁻³ de superfosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de amônio, respectivamente. Para tal, o solo foi retirado dos vasos, homogeneizado com os fertilizantes e recolocado nos mesmos. Aos 30, 60 e 90 dias após o transplante das mudas (DAT) foi realizada adubação de cobertura com 2,5 g de ureia por vaso.

As aplicações da mistura de aminopiralde + 2,4-D (100 + 800 g ha⁻¹, respectivamente) foram realizadas de forma escalonada, possibilitando que o transplante das mudas e as avaliações ocorressem no mesmo dia, para todos os tratamentos. A aplicação foi realizada com pulverizador costal de precisão pressurizado com CO₂, equipado com duas pontas TT110.02 espaçadas entre si de 0,50 m, operando na pressão de 300 kPa, calibrado para depositar 140 L ha⁻¹ de calda.

A intoxicação das mudas de eucalipto foi avaliada visualmente aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o transplante (DAT), usando a escala porcentual proposta pela ALAM (1974), onde 0% significa a ausência de sintomas visíveis de intoxicação, e 100% a morte das plantas de eucalipto.

Aos 150 DAT, foram mensuradas o diâmetro do caule a 3,0 cm acima do nível do solo e a altura de plantas de eucalipto. Posteriormente, as plantas foram cortadas ao nível do solo e as folhas foram destacadas para mensuração da área foliar em um medidor Li-Cor 3000 (Li-Cor Instruments, modelo LI-3000A). As folhas, caule e raízes de cada planta foram colocadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até obterem massa constante, para posterior determinação da massa da matéria seca de caules, folhas, raízes e total.

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. Para todas as foram ajustadas equações de regressão, levando-se em conta a explicação biológica do fenômeno, a significância dos parâmetros e os coeficientes de determinação, sendo as médias dos tratamentos comparadas entre si, por meio do desvio padrão. Além disso, para todas as variáveis, com exceção da porcentagem de intoxicação, as médias obtidas para cada intervalo entre aplicação dos herbicidas e transplante das mudas, foram comparadas com as testemunhas sem herbicidas, dentro de cada nível de pH do solo pelo desvio padrão da média.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não se verificou sintomas de intoxicação nas plantas de eucalipto aos 30 dias após o transplante (DAT) em nenhum dos tratamentos avaliados (dados não

apresentados). Contudo, nas avaliações realizadas a entre 60 e 150 DAT, constatou-se que a ação residual de aminopiralde + 2,4-D causou intoxicação em plantas de eucalipto, independente da realização da calagem, com evolução na intoxicação, para um mesmo intervalo entre aplicação dos herbicidas e o transplante das mudas, à medida que se ampliou o período entre o transplante e as avaliações (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

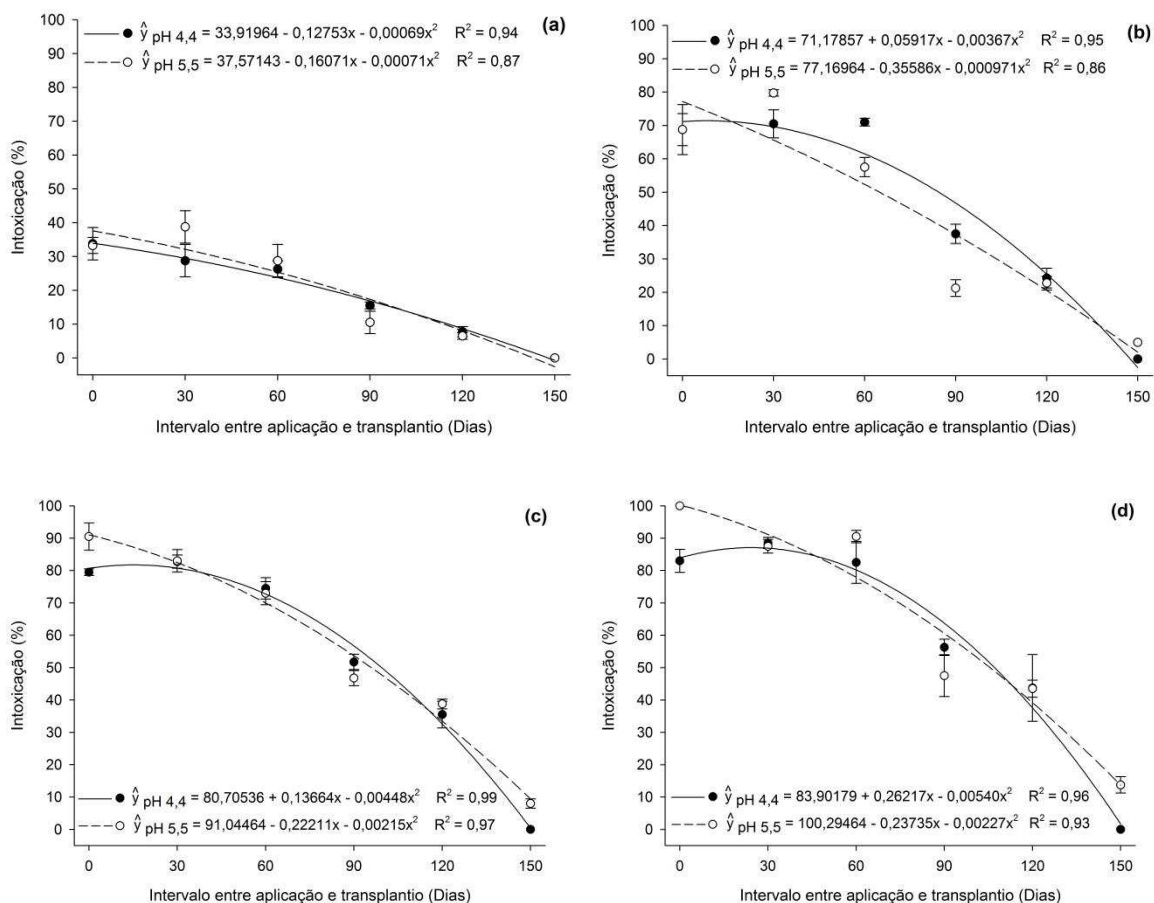


Figura 1. Intoxicação de plantas de eucalipto com a mistura aminopiralde + 2,4-D aplicada aos zero (dia do transplante), 30, 60, 90, 120 e 150 dias antes do transplante das mudas em solos com calagem (pH 5,5) e sem calagem (pH 4,4) em avaliações realizadas aos 60 (a), 90 (b), 120 (c) e 150 (d) dias após o transplante.

Sintomas mais severos de intoxicação foram constatados em menores intervalos entre a aplicação dos herbicidas e o transplante das mudas, conforme se observa na avaliação realizada aos 150 DAT (Figura 1d). A aplicação dos herbicidas no dia do transplante resultou em 83% de intoxicação em solo sem calagem (pH 4,4) e morte das plantas no solo com calagem (pH 5,5). Por outro lado, observa-se redução nos níveis de intoxicação à medida em que se aumenta o intervalo entre a aplicação e transplante, de modo que quando o transplante foi realizado 150 após a aplicação dos herbicidas, não se detectou sintomas visíveis de intoxicação no solo sem calagem, enquanto que solo

submetido à calagem, detectou-se apenas intoxicação moderada nas avaliações de 120 e 150 DAT (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

A aplicação de aminopiralde nas doses de 44 a 133 g ha⁻¹, em solos cultivados com *Ambrosia psilostachya*, proporcionou controle superior a 60% aos 112 dias após a aplicação, alcançando 95% de controle na dose de 89 g ha⁻¹, quando aplicado em pré-emergência em solo com textura arenosa. Enquanto que, a concentração de 2 µg de aminopiralde kg⁻¹ de solo, aplicado 21 dias antes do plantio de tomate, causou 80% de intoxicação aos 42 DAT (Fast et al., 2011). Seefeldt et al. (2013) observaram 40% de intoxicação em plantas de batata cultivadas após aplicação de 8 g ha⁻¹ de aminopiralde.

O incremento no diâmetro do caule das plantas de eucalipto até 150 DAT foi afetado de modo significativo quando o transplante foi realizado em intervalo inferior a 120 dias antes do transplante, em relação à testemunha sem herbicidas, independente do pH do solo (Figura 2A), com maiores diferenças observadas com a aplicação realizada no dia do transplante, em que a severa intoxicação e até morte das plantas (Figura 1) inviabilizaram o aumento da espessura do caule.

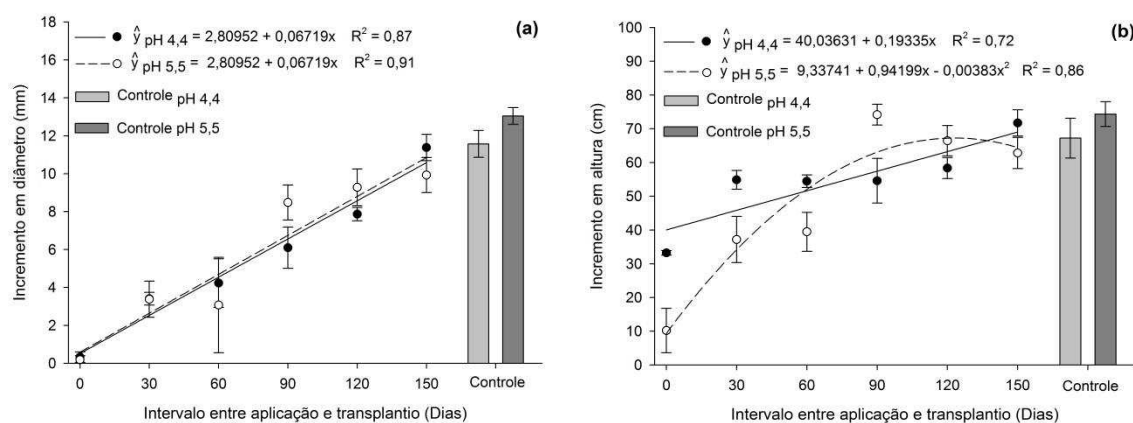


Figura 2. Incremento em diâmetro do caule (a) e altura (b) de plantas de eucalipto no período de zero (dia do transplante) a 150 dias após o transplante, em solos com calagem (pH 5,5) e sem calagem (pH 4,4) submetidos a aplicação da mistura aminopiralde + 2,4-D no dia do transplante e aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias antes do transplante.

Para as variáveis crescimento de plantas em altura (Figura 2b), área foliar (Figura 3a) e acúmulo de matéria seca de folhas, caule, raízes e total (Figuras 3b, 3c, 3d, 3e) houve interação entre os fatores períodos entre a aplicação dos herbicidas e o transplante das mudas de eucalipto e a elevação do pH do solo por meio de calagem, de modo, que mudas transplantadas aos 30 e 60 dias após a aplicação do aminopiralde + 2,4-D sofreram maior decréscimo no crescimento para as respectivas variáveis no solo submetido à calagem (pH 5,5) em relação ao solo sem calagem (pH 4,4). Entretanto, quando as mudas foram transplantadas aos 90 e 120 DAT, não se observou ação

residual dos herbicidas sobre o crescimento das plantas de eucalipto no solo com pH 5,5, haja vista que não se verificou diferença em relação ao tratamento controle sem herbicida, no respectivo valor de pH. Todavia, no solo com pH 4,4 houve menor índice de crescimento de plantas em relação à testemunha sem herbicidas e também, em relação ao solo com pH 5,5 em mudas transplantadas aos 90 e 120 dias após a aplicação dos herbicidas. Plantas de eucalipto transplantadas 150 dias após a aplicação dos herbicidas não tiveram seu crescimento da parte aérea afetado nos dois solos, embora, menor acúmulo de matéria seca da raiz tenha sido constatado no solo com pH 4,4.

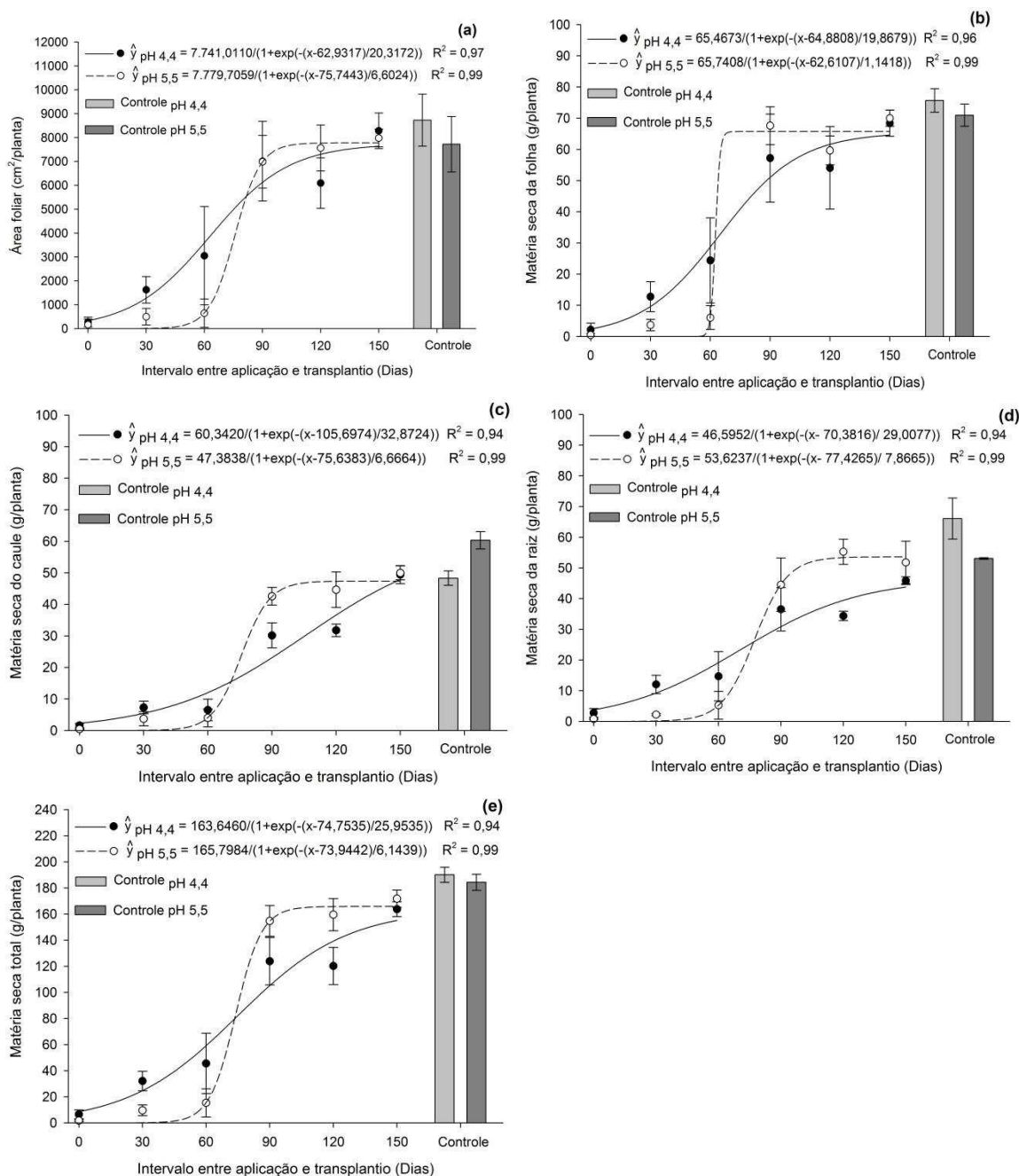


Figura 3. Área foliar (a), matéria seca folhas (b), caule (c), raízes (d) e total (e) de plantas de eucalipto aos 150 dias após o transplante, em solos com (pH 5,5) e sem calagem (pH 4,4) submetidos a aplicação da mistura aminopiraldide + 2,4-D no dia do transplante e aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias antes do transplante.

Os herbicidas auxínicos diminuem consideravelmente as taxas de crescimento das plantas nas raízes e parte aérea (D'Antonino et al., 2012), devido ao distúrbio no aparato fotossintético, no metabolismo dos ácidos nucleicos e proteínas (Pemadasa & Jeyasselan, 1976; Thill, 2003), resultando também em perda de rigidez das paredes celulares devido ao incremento na síntese da enzima celulase, principalmente nas raízes (Thill, 2003), fato este que explica maior sensibilidade das raízes (Figura 3d) em relação à parte aérea em plantas transplantadas 150 dias após a aplicação dos herbicidas no solo com pH 4,4.

A intoxicação (Figura 1) e conseqüente redução no crescimento de plantas de eucalipto (Figuras 2 e 3) observadas em plantas transplantadas no dia da aplicação da mistura aminopiralde + 2,4-D, podem estar relacionados à ação dos dois herbicidas. Entretanto, nos tratamentos com mudas transplantadas a partir dos 30 dias após a aplicação, pressupõe-se que os efeitos estão associados apenas ao herbicida aminopiralde, haja vista que a ação residual no solo do 2,4-D é inferior a quatro semanas (Silva et al., 2007b), também D'Antonino et al. (2009), não constataram ação residual do picloram, 42 dias após a aplicação.

O aminopiralde possui pKa 2,56 e se comporta como ácido fraco (Kraemer et al., 2009). Para esses herbicidas, quanto maior a proximidade do pH do solo com o pKa, maior será sua capacidade de se adsorver nas partículas coloidais do solo (Silva et al., 2007a), com isso, o herbicida tende a ficar na forma aniônica à medida em que se eleva o pH do solo, ficando portanto, menos sorvido e mais disponível na solução do solo (Senseman, 2007), explicando dessa forma, os maiores danos causados ao crescimento de plantas em altura (Figura 2b), área foliar e acúmulo de matéria seca de folhas, caule e raízes (Figura 3) no solo com pH 5,5 em relação ao solo sem calagem, com pH 4,4, em plantas transplantadas 30 e 60 dias após a aplicação do herbicida, que se encontrava mais disponível na solução no solo em relação ao solo sem calagem.

Entretanto, a maior disponibilidade de herbicida na solução do solo com pH 5,5, proporciona também, o aumento de degradação pela atividade microbiana (Kraemer et al., 2009), de modo que mudas transplantadas a partir dos 90 dias após a aplicação não tiveram seu crescimento afetado pelo herbicida quando se realizou a calagem (Figura 3). Por outro lado, no solo com pH 4,4, a degradação ocorre de forma mais lenta devido ao fato do herbicida estar mais ligado aos coloides do solo e menos disponível para degradação microbiana, ficando exposto ao processo de dessorção gradativa de modo a prolongar sua ação residual, afetando o crescimento da parte aérea e de raízes do

eucalipto quando este é transplantado até 120 e 150 dia após a aplicação, respectivamente.

A maior disponibilidade do herbicida na solução do solo com a elevação do pH pode potencializar também a lixiviação do herbicida no perfil do solo (D'Antonino et al., 2012) em condições de campo, fato este que não ocorreu neste trabalho, haja vista que os vasos estavam com os fundos vedados de modo a evitar perdas dos herbicidas por lixiviação.

Em solos com resíduo de picloram (pKa 2,3), o aumento da dose do herbicida reduziu o acúmulo de matéria seca e área foliar de plantas de café, sendo estas reduções mais pronunciadas com a elevação do pH do solo de 4,4 para 6,2, por meio de calagem (D'Antonino et al., 2012), corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, haja vista que são herbicidas pertencentes ao mesmo mecanismo de ação.

Na cultura da soja semeada, também em argissolo (pH 7,6), aos 240 dias após a aplicação de aminopiralde, constatou-se 89,7 e 100% redução em altura plantas nas doses 60 e 120 g ha⁻¹, respectivamente, aos 60 DAT. No entanto, em solo incubado por 690 dias após a aplicação, a soja não apresentou sintomas de intoxicação (Mikkelsen & Lym, 2011). A elevada intoxicação na soja semeada 240 dias após a aplicação nesse trabalho pode ter relação com a maior sensibilidade da cultura em relação ao eucalipto e também, com outras características que podem influenciar na persistência do herbicida no solo, como teor de matéria orgânica, textura do solo, pH e também, condições ambientais como temperatura e umidade do solo.

Em face ao exposto, conclui-se que a calagem, com conseqüente elevação do pH do solo, potencializa a intoxicação de plantas eucalipto transplantadas até 60 dias após aplicação e reduz o período de ação residual da mistura aminopiralde + 2,4-D, de modo que no solo com calagem (pH 5,5) e sem calagem (pH 4,4) não houve prejuízo no crescimento de plantas transplantadas aos 90 e 150 dias após a aplicação, respectivamente.

4.6. LITERATURA CITADA

Asociación latinoamericana de malezas – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1974; 1: 35-8.

Barros R.E. et al. Physiological response of eucalyptus species grown in soil treated with auxin-mimetic herbicides. **Planta Daninha**. 2014; 32: 629-38.

Berisford Y.C. et al. Leaching and persistence of herbicides for kudzu (*Pueraria montana*) control on pine regeneration sites. **Weed Science**. 2006; 54: 391-400.

Bukun B. et al. Comparison of the interactions of aminopyralid vs. clopyralid with soil. **Weed Science**. 2010; 58: 473-3.

Close M.E. et al. Field study of pesticide leaching in allophanic soil in New Zealand. 1: Experimental results. **Australian journal of soil research**. 2003; 41: 809-24.

D'antonino L. et al. Crescimento de plantas de café em solos com resíduos de picloram. **Planta Daninha**. 2012; 30: 193-200.

D'antonino L. et al. Lixiviação do picloram em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**. 2009; 27: 589-600.

Fast B.J. et al. Aminopyralid soil residues affect rotational vegetable crops in Florida. **Pest Management Science**. 2011; 67: 825-30.

Fast B.J. et al. Picloram and Aminopyralid Sorption to Soil and Clay Minerals. **Weed Science**. 2010; 58: 484-9.

Funderburg E.R. et al. Evaluation of Aminopyralid Applied PRE to Control Western Ragweed (*Ambrosia psilostachya*) in Oklahoma Pastureland. **Weed Technology**. 2014; 28: 395-400.

Kraemer A.F et al. Destino ambiental dos herbicidas do grupo das imidazolinonas - Revisão. **Planta daninha**. 2009; 27: 629-39.

Mikkelsen J.R., Lym R.G. Aminopyralid Soil Residues Affect Crop Rotation in North Dakota Soils. **Weed Technology**. 2011; 25: 422-9.

Pemadasa M.A., Jeyaseelan K. Some effects of 3 herbicidal auxins on stomatal movements. **New phytologist**. 1976; 77: 569-73.

Robinson A.P. et al. Summer annual weed control with 2,4-D and glyphosate. **Weed Technology**. 2012; 26: 657-60.

Santos J.B. et al. **Fitorremediação de áreas contaminadas por herbicidas**. In: Silva A.A., Silva J.F. editores. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: UFV, 2007. p. 83-148.

Santos D.P. et al. Determinação de espécies bioindicadoras de resíduos de herbicidas auxínicos. **Ceres**. 2013; 60: 354-62.

Seefeldt S.S. et al. Aminopyralid Residue Impacts on Potatoes and Weeds. **American Journal of Potato Research**. 2013; 90: 239-44.

Senseman S.A. **Herbicide Handbook**. 9th ed. Champaign, IL: Weed Science Society of America, 2007. 458 p.

Silva A.A., Ferreira F.A., Ferreira L.R. **Herbicidas: Classificação e mecanismos de ação**. In: Silva A.A., Silva J.F. editores. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: UFV, 2007a. p. 83-148.

Silva A.A., Vivian R., Oliveira Jr. R. S. **Herbicidas: Comportamento no solo**. In: Silva A.A., Silva J.F. editores. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: UFV, 2007b. p. 189-248.

Thill D. **Growth regulator herbicides**. In: Weller S.C. et al. (Eds.) Herbicide Action Course. West Lafayette, Purdue University, 2003. p. 267-91.

Tuffi Santos L.D. et al. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha**. 2013; 31: 491-9.

Vencill W.K. et al. Herbicide Resistance: Toward an Understanding of Resistance Development and the Impact of Herbicide-Resistant Crops. **Weed Science**. 2012; 60: 2-30.

Walker S. et al. Weed age affects chemical control of *Conyza bonariensis* in fallows.
Crop Protection. 2012; 38: 15-20.

5. AÇÃO RESIDUAL DO TRICLOPYR SOBRE MUDAS DE EUCALIPTO

5.1. RESUMO

O controle de plantas daninhas eudicotiledôneas perenizadas tolerantes ao glyphosate na implantação do eucalipto, requer uso de herbicidas com eficácia sobre estas plantas, como o triclopyr. Todavia, este pode apresentar efeito residual no solo tornando-se disponível para a absorção pelas plantas de eucalipto transplantadas em sequência. Nesta pesquisa avaliou-se a ação residual do herbicida triclopyr em solos com diferentes atributos sobre o crescimento de plantas de eucalipto em dois experimentos conduzidos em casa de vegetação. No primeiro, foram avaliadas seis doses de triclopyr (0, 192, 384, 576, 768 e 960 g ha⁻¹) em solo com textura argilosa e o segundo experimento, conduzido em esquema fatorial 2 x 6, com dois solos com diferentes atributos (textura argilosa e arenosa) e seis doses do herbicida triclopyr (0, 240, 480, 960, 1.440 e 1.920 g ha⁻¹). Em ambos os experimentos, a aplicação do triclopyr foi realizada dez dias antes do transplante das mudas de eucalipto. Foram avaliadas a intoxicação e características relacionadas ao crescimento de plantas de eucalipto (altura de plantas, área foliar e matéria seca de folhas, caule, raízes e total). No primeiro experimento não foi observado sintomas de intoxicação e redução no crescimento das plantas de eucalipto nas doses avaliadas. No segundo experimento constatou-se diferença na ação residual do triclopyr entre os solos estudados, com sintomas de intoxicação e redução no crescimento das plantas de eucalipto nas maiores doses do herbicida no solo argiloso, enquanto que plantas desenvolvidas no solo arenoso não tiveram o crescimento afetado pelo triclopyr das doses avaliadas.

Palavras-chave: herbicidas auxínicos, intoxicação, resíduo, sorção.

5.2. ABSTRACT

The control of glyphosate - tolerant perennial eudicotyledonous weeds in eucalyptus implantation requires the use of herbicides with efficacy on these plants, such as triclopyr. However, this may present residual effect on the soil becoming available for the absorption by the transplant eucalyptus plants in sequence. This study evaluated the residual action of the herbicide triclopyr in soils with different attributes on the growth of eucalyptus plants in two experiments conducted in a greenhouse. In the first one, six

doses of triclopyr (0, 192, 384, 576, 768 and 960 g ha⁻¹) were evaluated in clayey soils and the second experiment, conducted in a 2 x 6 factorial scheme, with two soils with different attributes (clay and sandy texture) and six doses of the herbicide triclopyr (0, 240, 480, 960, 1,440 and 1,920 g ha⁻¹). In both experiments, the application of triclopyr was performed ten days before transplantation of the eucalyptus seedlings. The intoxication and characteristics related to the growth of eucalyptus plants (height of plants, leaf area and dry matter of leaves, stem, roots and total) were evaluated. In the first experiment no symptoms of intoxication and reduced growth of eucalyptus plants were observed in the doses evaluated. In the second experiment, it was observed a difference in the residual action of triclopyr among the studied soils, with symptoms of intoxication and reduction of the growth of eucalyptus plants in the highest doses of the herbicide in the clay soil, while plants developed in the sandy soil did not have the affected growth by the triclopyr of the doses evaluated.

Key-words: auxinic herbicide, intoxication, residue, sorption.

5.3. INTRODUÇÃO

O uso repetitivo do glyphosate em áreas com cultivos homogêneos de eucalipto tem apresentado elevada pressão de seleção de plantas tolerantes a este herbicida (Tuffi Santos et al., 2013), fazendo-se necessário o emprego de novas ferramentas no manejo de plantas daninhas.

Desta forma, a utilização de herbicidas com outros mecanismos de ação como os mimetizadores de auxinas tem revelado grande potencial devido à eficiência no controle de plantas daninhas eudicotiledôneas tolerantes ao manejo adotado com glyphosate (Robinson et al., 2012; Walker et al., 2012). Dentre estes herbicidas, se destaca o triclopyr, com elevado potencial para uso no manejo de plantas daninhas em pré-plantio em áreas de reflorestamento, por possuir, segundo Santos et al. (2006) e Douglass et al. (2016), elevada eficiência no manejo de dicotiledôneas anuais e perenes e baixa persistência em solos.

O ácido [(3,5,6-tricloro-2-piridinil) oxi] acético (triclopyr) possui solubilidade em água de 23 mg L⁻¹, pressão de vapor de 1,26 x 10⁻⁶ mm Hg a 25 °C, pka: 2,68, Kow: 2,64 a pH 5 e 0,36 a pH 7 e Koc médio de 20 mL g⁻¹ (Almeida & Rodrigues, 2011).

Santos et al. (2006), ao avaliar herbicidas auxínicos no controle de plantas daninhas em pastagens, verificaram que o triclopyr apresentou eficácia no controle de

plantas infestantes eudicotiledôneas perenizadas, com eficiência semelhante às misturas de picloram + 2,4-D e picloram + fluroxypyr. Porém, aos 40 dias após a aplicação, não se verificou ação residual do triclopyr, enquanto que, para as misturas com picloram, detectou-se resíduo no solo, por meio de ensaio biológico, em período superior a 360 dias após a aplicação. Todavia, a ação residual de herbicidas auxínicos é dependente de características do solo como textura, mineralogia, teor de matéria orgânica, pH (Barros et al., 2014; D'Antonino et al., 2009) e da dose aplicada.

Desta forma, objetivou-se avaliar a ação residual do herbicida triclopyr sobre o crescimento de plantas de eucalipto em solos com diferentes atributos.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, nos anos de 2015 e 2016, no município de Viçosa – MG (42°52'54'' W, 20°45'10'' S), em solos com diferentes atributos, mediante a aplicação de doses crescentes do herbicida aos dez dias antes do transplante de mudas de eucalipto.

O primeiro experimento foi conduzido seguindo o delineamento em blocos casualizados, com seis doses do herbicida triclopyr (0, 192, 384, 576, 768, 960 g ha⁻¹), com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por um vaso contendo 10 dm⁻³ de argissolo cujas características químicas e físicas estão descritas na Tabela 1. O solo foi, previamente corrigido com 0,3 g dm⁻³ de calcário e incubado com umidade de aproximadamente 50% da capacidade de campo por 30 dias para posterior fertilização com 1,68 g dm⁻³ de superfosfato triplo, 0,22 g dm⁻³ de cloreto de potássio, 0,33 g dm⁻³ de sulfato de amônio.

Tabela 1 - Análise química e granulométrica do solo.

pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----						---%---		dag kg ⁻¹		
4,4	1,1	23	0,1	0,1	1,7	7,43	0,26	1,96	7,69	3,0	87,0	2,75
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural				Tipo de Solo		
-----%-----												
57		21		22		Argilosa				Argiloso		

pH em água; P e K⁺ – Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ – Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica.

As doses do triclopyr foram aplicadas dez dias antes do transplante das mudas, com pulverizador costal de precisão, com pressão constante (300 kPa), equipado com

duas pontas TT110.02 espaçadas entre si de 0,50 m, com volume de calda de 150 L ha⁻¹. Dez dias após a aplicação dos tratamentos foram transplantadas mudas uniformes do híbrido *Eucalyptus grandis* Hill ex Maden x *Eucalyptus urophylla* Blade, clone (CNB-10), com aproximadamente 0,30 m de altura e três meses de idade. Os vasos foram irrigados diariamente, de modo a manter o solo próximo da capacidade de campo, durante todo o período experimental. Aos 30, 60 e 90 dias após o transplante das mudas (DAT) foi realizada adubação de cobertura, adicionando-se 2,5 gramas de ureia por vaso.

A porcentagem de intoxicação e altura das plantas de eucalipto foram avaliadas aos 7, 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 150 DAT. Para a porcentagem de intoxicação utilizou-se escala que varia 0 a 100%, onde 0% significa a ausência de sintomas visíveis de intoxicação e 100%, morte das plantas de eucalipto (ALAM, 1974).

Aos 150 DAT, as plantas foram cortadas ao nível do solo e tiveram suas folhas destacadas para mensuração da área foliar utilizando-se o me

didor Li-Cor 3000 (Li-Cor Instruments, modelo LI-3000A). Posteriormente, as folhas, caule e as raízes foram alocadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem massa constante, para posterior determinação da massa da matéria seca de folhas, caule, raízes e total. Ressalta-se que as raízes das plantas foram lavadas com água corrente para eliminação do solo, antes de serem levadas à estufa para secagem.

Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade e, em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O segundo experimento foi conduzido em esquema fatorial 2 x 6, com dois solos (textura argilosa e textura arenosa), cujos atributos estão apresentados na Tabela 2, e seis doses do herbicida triclopyr (0, 240, 480, 960, 1.440 e 1.920 g ha⁻¹), seguindo o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por um vaso contendo 10 dm⁻³ previamente corrigido com 1,6 e 1,0 dm⁻³ de calcário nos solos argiloso e arenoso, respectivamente, sendo posteriormente incubado com umidade de aproximadamente 50% da capacidade de campo por 30 dias para posterior fertilização com 1,68 g dm⁻³ de superfosfato triplo, 0,22 g dm⁻³ de cloreto de potássio, 0,33 g dm⁻³ de sulfato de amônio, para ambos os solos.

Tabela 2 - Análise química e granulométrica dos solos avaliados no segundo experimento.

Solo Argiloso												
pH	P	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----								---%---	dag kg ⁻¹	
4,7	1,6	65	0,4	0,2	1,5	6,93	0,77	2,27	7,70	10,0	66,0	2,29
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural				Tipo de Solo		
-----%-----												
60		14		26		Argilosa				Argiloso		
Solo Arenoso												
pH	P	K⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----								---%---	dag kg ⁻¹	
4,7	2,3	41	2,2	0,7	0,2	5,6	3,0	3,2	8,6	35	6	2,52
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural				Tipo de Solo		
-----%-----												
17		7		76		Franco-arenosa				Arenoso		

pH em água; P e K⁺ – Extrator Mehlich 1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ – Extrator: KCl – 1 mol L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de troca catiônica efetiva; T – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – índice de saturação de bases; m – índice de saturação de alumínio; MO – matéria orgânica.

Os tratamentos com as doses propostas do triclopyr foram aplicados nas mesmas condições adotadas no primeiro experimento e dez dias após realizou-se o transplante de mudas do mesmo clone e com os mesmos padrões de tamanho e idade adotados no primeiro ensaio. Após a aplicação os vasos foram irrigados diariamente, de modo a manter o solo próximo da capacidade de campo. Aos 07 e 30 DAT foram realizadas adubação de cobertura, adicionando-se 2,5 gramas de ureia por vaso.

As avaliações visuais de intoxicação foram realizadas aos 7, 15, 30 e 60 (DAT), por meio de comparação com a testemunha com base na escala proposta ALAM (1974), onde 0% significa à ausência de sintomas visíveis de intoxicação, e 100% a morte das plantas de eucalipto. Também aos 60 DAT, foi mensurada a altura das plantas, área foliar e massa da matéria seca de folhas, caule, raízes e total, seguindo os procedimentos do primeiro experimento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade e, em caso de significância, as médias referentes aos dados quantitativos (doses do herbicida) dos dois experimentos posteriormente foram submetidos à análise de regressão, na escolha do modelo levou-se em conta a explicação biológica do fenômeno, a significância dos parâmetros e os coeficientes de determinação. No segundo experimento, as médias dos dois solos dentro de cada dose do herbicida foram comparadas entre si, por meio do desvio padrão da média.

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro experimento, não se verificou sintomas visuais de intoxicação nas plantas de eucalipto, em avaliações realizadas até 150 dias após o transplante das mudas, em nenhuma das doses de triclopyr aplicadas (dados não apresentados), indicando a baixa ação residual do herbicida, que provavelmente, está relacionada às características do solo, como textura argilosa (57% de argila) e elevado teor de matéria orgânica de 2,75% (Tabela 1), associadas ao teor de umidade mantido próximo à capacidade de campo no período que antecedeu o transplante, de modo a favorecer a atividade microbiana na degradação do herbicida. Segundo Douglass et al. (2016), a degradação do triclopyr em diferentes solos varia em função das condições edafoclimáticas a uma amplitude de quatro a sete dias após a aplicação, o que parece ter acontecido no presente trabalho, cuja a aplicação ocorreu aos dez dias antes do transplante. Também, Santos et al. (2006), não detectaram resíduo de triclopyr em solos de textura argilo-arenosa, aos 40 dias após a aplicação.

Não houve também, diferença significativa ($p > 0,05$) para as variáveis altura, diâmetro do caule e massa de matéria seca das folhas, caule e raízes das plantas de eucalipto desenvolvidas em solos submetidos à aplicação triclopyr (Tabela 3), indicando a baixa persistência do triclopyr no solo avaliado, tornando-o disponível em doses muito baixas ou até mesmo indisponíveis para a absorção do sistema radicular do eucalipto. Todavia, mesmo que em pequena escala, houve decréscimo na área foliar, a partir da dose de 385 g ha^{-1} de triclopyr (Figura 1), de modo que plantas de eucalipto desenvolvidas em solos submetidos à aplicação de 960 g ha^{-1} apresentaram redução de 11,12% em relação à testemunha sem herbicida.

Tabela 3 – Altura plantas, diâmetro do caule, área foliar e massa de matéria seca de folhas caule e raízes de plantas de eucalipto, aos 150 dias após o transplante, em solos submetidos à aplicação de diferentes doses de triclopyr.

g ha^{-1} de triclopyr	Altura ^{ns}	Diâmetro ^{ns}	Matéria seca (g/planta)		
	(cm)	(mm)	Folha ^{ns}	Caule ^{ns}	Raízes ^{ns}
0	125,53	19,43	120,55	96,15	66,35
192	127,05	18,52	124,75	101,93	70,23
384	132,63	21,06	120,35	100,83	64,03
576	124,83	19,94	119,15	105,73	64,95
768	134,45	19,75	118,70	106,00	64,65
960	126,03	19,23	113,63	101,13	65,73

^(ns) não significativo ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

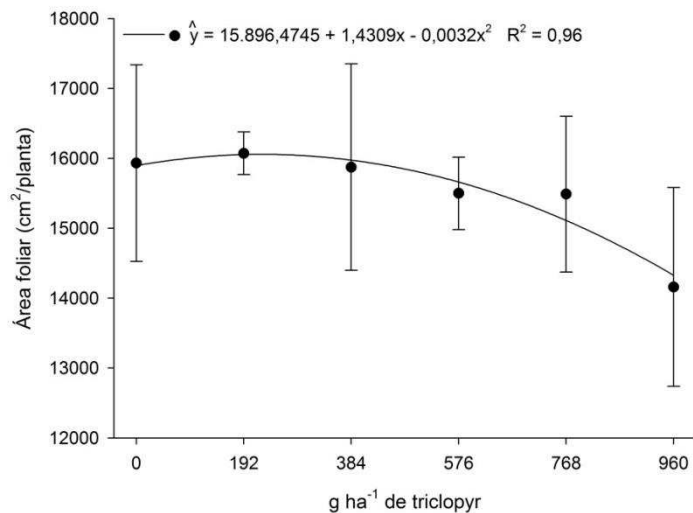


Figura 1 – Área foliar de plantas de eucalipto, aos 150 dias após o transplante, cultivadas em solo argiloso submetido à aplicação de doses crescentes de triclopir 10 dias antes do transplante.

No segundo experimento, sintomas de intoxicação foram constatados nas plantas de eucalipto, independente da classe textural do solo em todas as avaliações realizadas (Figuras 2a, 2b, 2c e 2d), sendo que aos 60 DAT, até a dose de 1.440 g ha⁻¹ de triclopir, não se observou diferença no nível de intoxicação entre os dois solos, no entanto, na dose de 1.920 g ha⁻¹, que corresponde ao dobro da dose recomendada, a intoxicação foi maior no solo argiloso (35%), em relação ao solo com textura arenosa (20%) (Figura 2d). Na dose comercial recomendada pelo fabricante o nível de intoxicação nos dois solos foi considerado baixo, com valores inferiores a 20%.

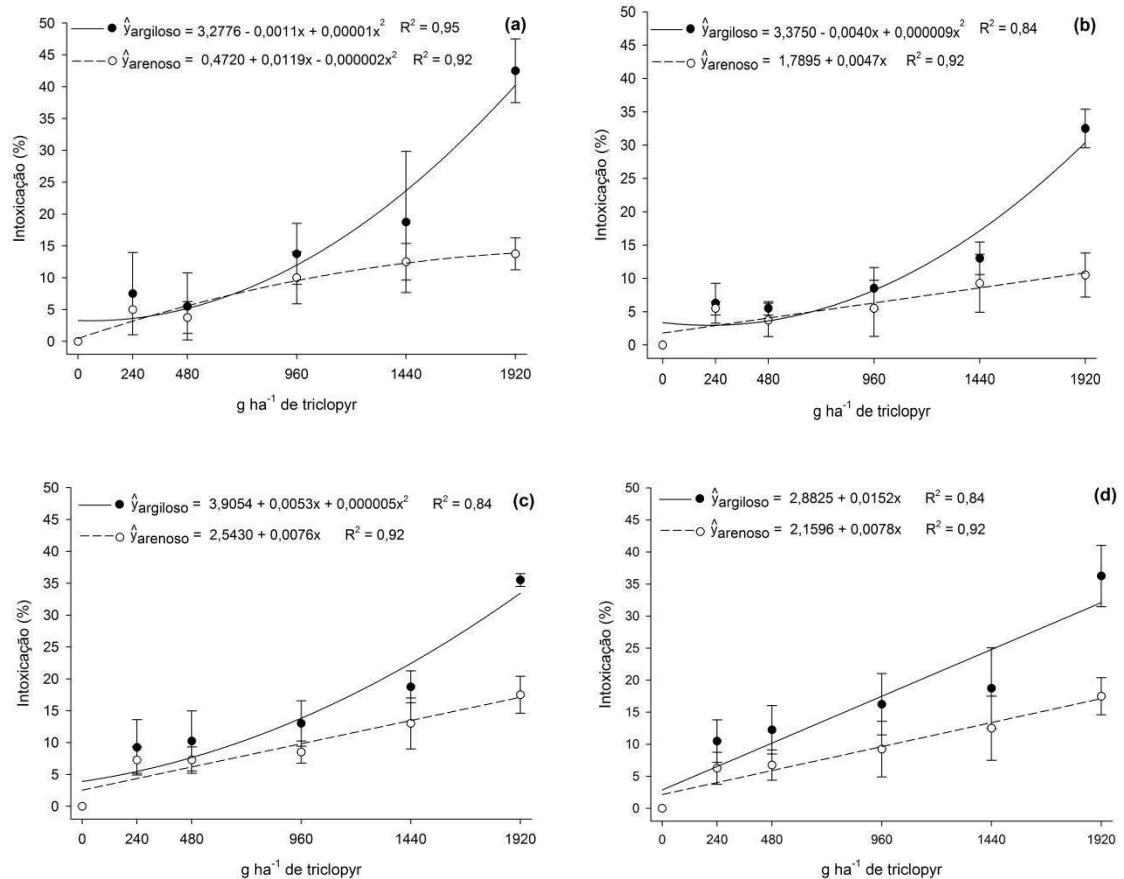


Figura 2 – Porcentagem de intoxicação de plantas de eucalipto, aos 7 (a), 15 (b), 30 (c) e 60 dias após o transplante (d), cultivados em solos argiloso (—●) e arenoso (---○) submetidos à aplicação de doses crescentes de triclopyr 10 dias antes do transplante .

Verificou-se também, interação entre os efeitos das doses do triclopyr e os solos estudados para as variáveis, incremento altura de plantas, área foliar e o acúmulo de matéria de folhas, caule, raízes e total, de modo que plantas desenvolvidas em solo arenoso não tiveram área foliar e o acúmulo de matéria de folhas, caule, raízes e total influenciados pelo triclopyr, independente da dose aplicada (Figura 3), enquanto que, quando o herbicida foi aplicado no solo argiloso, o aumento da dose resultou em decréscimo linear para as respectivas variáveis, de modo que a ação residual do herbicida dose de 1.920 g ha⁻¹ proporcionou reduções de 45,12%, 40,97%, 47,24% e 49,59%, respectivamente, para as variáveis área foliar, massa da matéria seca das folhas, caule e raízes em relação à testemunha sem herbicidas no respectivo solo.

As diferenças entre os dois solos ficam ainda mais evidenciadas quando se compara os valores obtidos para as respectivas variáveis dentro de cada dose do triclopyr, onde se verifica que para as testemunhas sem herbicidas e na dose de 240 g ha⁻¹, não há diferenças entre os dois solos, enquanto que para doses acima de 480 g ha⁻¹ as diferenças são evidenciadas e ficam mais discrepantes com o aumento da dose.

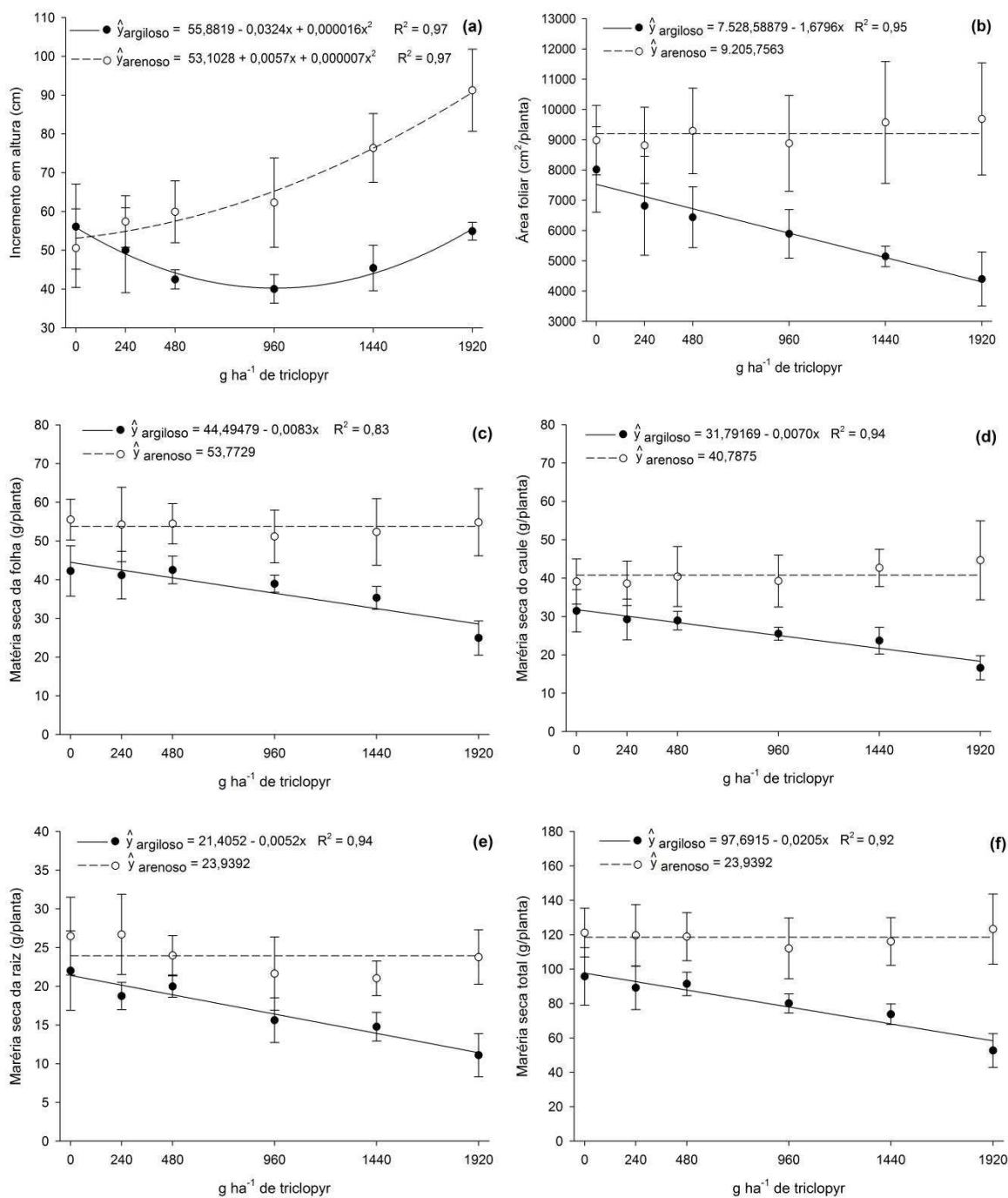


Figura 3 – Incremento em altura de plantas (a), área foliar (b), massa da matéria seca das folhas (c), caule (d), raízes (e) e total (f) de plantas de eucalipto, aos 60 dias após o transplante, cultivadas em solos argiloso e arenoso submetidos a aplicação de doses crescentes de triclopyr 10 dias antes do transplantes.

Herbicidas auxínicos proporcionam redução na taxa de crescimento das plantas, além de contribuir com o distúrbio do aparato fotossintético e o metabolismo dos ácidos nucleicos e proteínas (Pemadasa & Jeyasselan, 1976; Thill, 2003; D'Antonino et al., 2012), ocasionando também, crescimento desorganizado, retorcimento de caules e folhas e morte do meristema apical (Silva et al., 2007). Carvalho et al. (2014) e Tuffi

Santos et al. (2012) constataram redução no crescimento de plantas de eucalipto mediante aplicação de subdoses de triclopyr.

Maiores níveis de intoxicação (Figura 2) e consequente redução de taxas de crescimento (Figura 3) de plantas de eucalipto transplantadas 10 dias após a aplicação do triclopyr no solo argiloso em relação ao solo arenoso estão relacionadas à maior disponibilidade do herbicida na solução do solo por ocasião e nos períodos que sucederam o transplante das mudas, que é explicado pela o maior potencial de retenção do herbicida nos coloides do solo, reduzindo a disponibilidade do herbicida para percolação para camadas mais profundas e também, para degradação via comunidade microbiana. Entretanto herbicida vai sendo desorvido gradativamente e disponibilizado na solução do solo para ser absorvido pelas raízes das plantas de eucalipto, de modo a intoxicá-las.

Por outro lado, a menor taxa de sorção do herbicida no solo arenoso, torna-o disponível para o processo de degradação microbiana e, também, para percolar para camadas mais profundas do perfil do solo, de modo que o intervalo de tempo entre a aplicação do herbicida e o transplante foi suficiente para que estes processos ocorressem nesse e as plantas não fossem intoxicadas. Como os vasos tinham os fundos vedados, não ocorreu perda do herbicida que por ventura se moveu para camadas mais profundas, mas o herbicida localizado nas camadas inferiores foi sendo degradado pela comunidade microbiana, de modo que quando o sistema radicular do eucalipto atingiu esta região, a quantidade de herbicida disponível na solução não era suficiente para causar danos na planta. Segundo Swann & Unger (1981), a principal via de dissipação de triclopyr no solo é a degradação microbiana, a qual é influenciada pelas condições ambientais como temperatura e umidade.

O triclopyr é fracamente absorvidos no solo através de interações hidrofóbicas e ligação de hidrogênio com os coloides do solo, especialmente a matéria orgânica, sendo influenciado pelo pH do solo (Kah & Brown, 2006), em que a elevação do pH reduz o potencial de sorção, tornando-o mais disponível na solução do solo e influenciando nos processos degradação e mobilidade no solo (Palma et al., 2015), sendo esta influenciada também, pela alta solubilidade do triclopyr em água (Almeida & Rodrigues, 2011).

Douglass et al. (2016), estudando a persistência do triclopyr em seis solos, constataram que a meia vida do herbicida variou de 5 a 16 dias após a aplicação e que a degradação do triclopyr é influenciada pelos atributos do solo, especialmente, o teor de matéria orgânica e textura. Santos et al. (2006) avaliando a persistência do triclopyr aplicado na dose de 960 g ha⁻¹ em pastagem por meio de ensaios biológicos usando

pepino (*Cucumis sativus*) como planta indicadora, detectaram ação residual do herbicida aos 10 dias após a aplicação, entretanto, aos 40 dias após a aplicação não se detectou nenhum sintoma no pepino que é extremamente sensível ao herbicida, Segundo Douglass et al. (2016) há diferença de sensibilidade entre espécies cultivadas à ação residual do herbicida, justificando assim, a baixa intoxicação do eucalipto no presente trabalho, mesmo quando se aplicou o dobro da dose recomendada do herbicida para uso em pastagem 10 dias antes do transplante.

A ausência de danos ao crescimento de plantas de eucalipto transplantadas aos dez dias após a aplicação do triclopyr no primeiro experimento e no solo arenoso no segundo experimento, mesmo com a aplicação do dobro da dose comercial, sugere que o triclopyr possa ser utilizado na dessecação em pré-plantio, para o controle de espécies perenizadas tolerantes ao glyphosate. Entretanto, os resultados obtidos no segundo experimento no solo argiloso, com intoxicação moderada e redução na taxa de crescimento nas maiores doses indicam que o prazo entre a aplicação e o transplante deve ser estendido, de modo evitar danos nas plantas de eucalipto.

5.7. LITERATURA CITADA

Asociación latinoamericana de malezas – ALAM. Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación en ensayos de control de malezas. **ALAM**. 1974; 1: 35-8.

Barros R.E. et al. Physiological response of eucalyptus species grown in soil treated with auxin-mimetic herbicides. **Planta Daninha**. 2014; 32: 629-38.

Carvalho G.P. et al. Deriva simulada de triclopyr e fluroxypyr + triclopyr no Desenvolvimento de mudas de clones de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**. 2014; 38: 165-73.

D'antonino L. et al. Lixiviação do picloram em Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes valores de pH. **Planta Daninha**. 2009; 27: 589-600.

D'antonino L. et al. Crescimento de plantas de café em solos com resíduos de picloram. **Planta Daninha**. 2012; 30: 193-200.

Douglass C.H. et al. Impacts of Imazapyr and Triclopyr Soil Residues on the Growth of Several Restoration Species. **Rangeland Ecology & Management**. 2016; 69: 199-205.

Duke S.O. et al. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks on Pest Management**. 2006; 17: 29-33.

Kah M., Brown C.D. Adsorption of ionisable pesticides in soils. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. 2006; 188: 149–217.

Palma G. et al. Effect of pH on sorption kinetic process of acidic herbicides in a volcanic soil. **Journal Soil Science Plant Nutrition**. 2015; 15: 549-60.

Pemadasa M.A., Jeyaseelan K. Some effects of 3 herbicidal auxins on stomatal movements. **New phytologist**. 1976; 77: 569-73.

Ranft R.D. et al. Development of a soil bioassay for triclopyr residues and comparison with a laboratory extraction. **Weed Technology**. 2010; 24: 538-43.

Robinson A.P. et al. Summer annual weed control with 2,4-D and glyphosate. **Weed Technology**. 2012; 26: 657-60.

Almeida F.S., Rodrigues B.N. **Guia de herbicidas**. 6. ed. Londrina, 2011. 697p.

Swann R.L., Unger S.M. 1981. **Photodecomposition of triclopyr butoxy ethyl ester on soil surfaces**. 1981; DowElanco. Data package Report N^o. ABM-106279-E. DPR# 51566-001.

Santos M.V. et al. Eficácia e persistência no solo de herbicidas utilizados em pastagem. **Planta Daninha**. 2006; 24: 391-8.

Silva A.A., Silva J.F. **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 367p.

Thill D. Growth regulator herbicides. In: Weller S.C. et al. (Eds.) **Herbicide Action Course**. West Lafayette, Purdue University, 2003. p. 267-91.

Tuffi Santos L.D. et al. Floristic and structural variation of weeds in eucalyptus plantations as influenced by relief and time of year. **Planta Daninha** 2013; 31: 491-9.

Tuffi Santos L.D. et al. Intoxicação de eucalipto submetido à deriva simulada de diferentes herbicidas. **Planta Daninha**. 2006; 24: 521-6.

Walker S. et al. Weed age affects chemical control of *Conyza bonariensis* in fallows. **Crop Protection**. 2012; 38: 15-20.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa buscaram-se alternativas para o controle de plantas daninhas tolerantes ao glyphosate no preparo da área para implantação e no cultivo do eucalipto, bem como, na redução de danos causados ao eucalipto em razão da deriva de herbicidas por meio da adição de produtos protetores como Fertiactyl Pós[®] à calda. Para tal, foram conduzidos os seguintes trabalhos: eficiência do saflufenacil no manejo da *Commelina benghalensis* em diferentes níveis de sombreamento; efeito do Fertiactyl Pós[®] em mistura com os herbicidas glyphosate, 2,4-D e glyphosate + 2,4-D sobre a redução de danos causados pela deriva destes herbicidas em plantas de eucalipto; efeito da calagem no solo sobre a ação residual da mistura aminopiralde + 2,4-D em mudas de eucalipto; ação residual do triclopyr sobre o crescimento de mudas de eucalipto em solos com diferentes atributos. Por meio dos resultados obtidos verificou-se que plantas de *Commelina benghalensis* crescidas em ambiente sombreados são mais suscetíveis ao saflufenacil, que não controlou de modo eficiente plantas crescidas a pleno sol. A utilização do Fertiactyl Pós[®] à calda com glyphosate e 2,4-D aplicados isoladamente, reduziu a intoxicação de plantas de eucalipto expostas a estes herbicidas, tornando-o uma alternativa viável para a mitigação dos danos causados pela deriva. A aplicação da mistura dos herbicidas aminopiralde + 2,4-D em áreas para posterior plantio de eucalipto deve ser evitada, pois a ação residual destes resultou em intoxicação de plantas transplantadas no período de até 150 dias após a aplicação, com maior período residual em solo com pH 4,5 em relação ao solo com pH 5,5. Enquanto que para o herbicida triclopyr, mudas transplantadas 10 dias após a aplicação não tiveram o crescimento afetado pela ação residual do herbicida, indicando potencial de uso do triclopyr para o preparo de áreas em pré-plantio infestadas com espécies eudicotiledôneas perenizadas, embora, seja necessária a condução de trabalhos em campo para confirmar estes resultados.